

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **11008590 A**(43) Date of publication of application: **12.01.99**

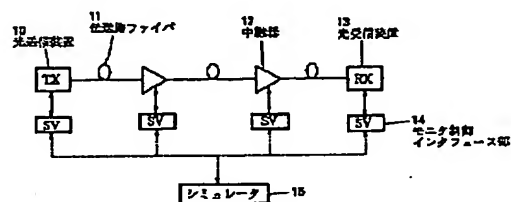
(51) Int. Cl.

H04B 10/08**H04B 10/02****H04B 10/18**(21) Application number: **10019222**(22) Date of filing: **30.01.98**(30) Priority: **25.04.97 JP 09109248**(71) Applicant: **OKI ELECTRIC IND CO LTD**(72) Inventor:
SATO HIDEAKI
ASABAYASHI KAZUNARI
MAEDA HIDENARI
WATANABE TAKASHI(54) **OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM AND
SUPERVISORY AND CONTROL METHOD
THEREFOR**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable taking more system margins.

SOLUTION: An optical transmission system, to which this method is applied, is provided with an optical transmitter (TX) 10, an optical transmission line 11, a repeater 12, an optical receiver (RX) 13, an interface part (SV) 14 for monitoring and controlling respective devices, and a simulator 15 for performing simulation based on the states of respective components. In this case, the degradation factor of transmission quality at each device is set as a parameter, the simulator 15 monitors the states of respective devices and collects the parameters, a code error rate or a Q-value is simulated based on the collected parameters, and the respective devices are controlled, so as to minimize that code error rate or the maximize that Q-value.



COPYRIGHT: (C)1999,JPO

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-8590

(43) 公開日 平成11年(1999) 1月12日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 4 B 10/08
10/02
10/18

H 0 4 B 9/00

K
M

審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願平10-19222

(22) 出願日 平成10年(1998) 1月30日

(31) 優先権主張番号 特願平9-109248

(32) 優先日 平 9 (1997) 4月25日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000000295

沖電気工業株式会社

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

(72) 発明者 佐藤 秀暁

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気
工業株式会社内

(72) 発明者 浅林 一成

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気
工業株式会社内

(72) 発明者 前田 英成

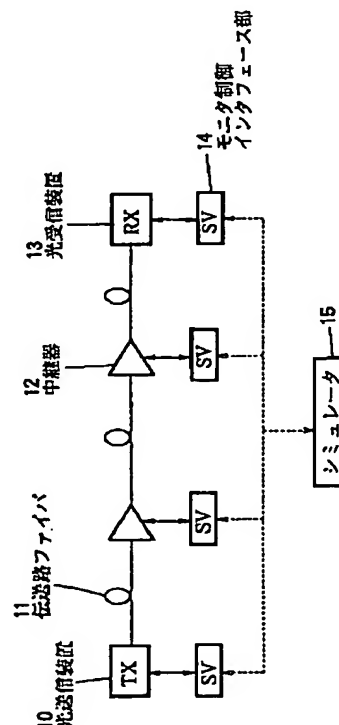
東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気
工業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 前田 実

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光伝送システム及びその監視制御方法

(57) 【要約】

【課題】 より多くのシステムマージンを取ることで
きる光伝送システム及びその監視制御方法を提供する。【解決手段】 光伝送システム及びその監視制御方法
は、光送信装置 (TX) 10、光伝送路 11、中継器 1
2、光受信装置 (RX) 13、各装置をモニタ制御する
インターフェース部 (SV) 14、各構成要素の状態を
基にシミュレーションを行うシミュレータ 15を備え、
各装置における伝送品質の劣化要因をパラメータとして
設定しておき、シミュレータ 15が、各装置の状態を監
視してパラメータを収集し、収集したパラメータに基づ
いて符号誤り率又はQ値をシミュレーションして、該符
号誤り率が最小又は該Q値が最大になるように各装置を
制御する。

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光端局装置及び中継装置を備えた光伝送システムにおいて、

前記各装置における伝送品質の劣化要因をパラメータとして設定する設定手段と、

前記各装置の状態を監視し、前記パラメータを収集する収集手段と、

前記収集されたパラメータに基づいて符号誤り率又はQ値をシミュレーションにより求め、該符号誤り率が最小又は該Q値が最大になるように前記各装置を制御する制御手段とを備えたことを特徴とする光伝送システム。

【請求項 2】 前記各装置は、

少なくとも光送信器、光ファイバ、光増幅器、光フィルタ又は光受信器の何れか 1 以上を備え、

前記パラメータは、

前記光送信器では、

擬似ランダム符号パターン段数、伝送速度、信号光波長、光送信器出力の波長チャープ量及び消光比、又は光送信器の光出力 S/N 比を、

前記光ファイバでは、

各波長における 1 次分散値及び 2 次分散値、非線形定数、ファイバ長、ファイバの伝送損失、又は入力光パワーを、

前記光増幅器では、

信号利得、NF（雑音指数）、又は入出力光パワーを、

前記光フィルタでは、

透過帯域幅、又は挿入損失を、

前記光受信器では、

光／電気変換効率、受信帯域（電気）、受信波形ピーク値又はQ値の何れかを用いることを特徴とする請求項 1 記載の光伝送システム。

【請求項 3】 前記各装置に監視線を接続し、

前記監視線を用いて前記収集手段により前記パラメータを自動的に収集するとともに、

前記監視線を介して前記制御手段により前記各装置に対する制御を自動的に行うことを特徴とする請求項 1 記載の光伝送システム。

【請求項 4】 前記各装置毎に、前記収集手段及び前記制御手段を分散的に配置したことを特徴とする請求項 1 記載の光伝送システム。

【請求項 5】 前記各装置毎に、前記収集手段及び前記制御手段を分散的に配置し、かつ独立して前記制御を行うことを特徴とする請求項 1 記載の光伝送システム。

【請求項 6】 上り回線及び下り回線からなる伝送路を備え、

前記伝送路を介して前記収集手段による前記パラメータ収集及び前記制御手段による制御を行うことを特徴とする請求項 1 記載の光伝送システム。

【請求項 7】 異なる光波長で、かつ双方向伝送が可能な伝送路を備え、

前記伝送路を介して前記収集手段による前記パラメータ収集及び前記制御手段による制御を行うことを特徴とする請求項 1 記載の光伝送システム。

【請求項 8】 複数の光波長により伝送する光伝送システムであって、

各波長において最適な状態になるように前記設定手段による前記パラメータの設定、前記収集手段による前記パラメータ収集及び前記制御手段による制御を行うことを特徴とする請求項 1 記載の光伝送システム。

【請求項 9】 波長チャンネルを変更したとき前記パラメータを自動的に変更する手段を備え、

該変更されたパラメータに基づいて前記収集手段による前記パラメータ収集及び前記制御手段による制御を行うことを特徴とする請求項 8 記載の光伝送システム。

【請求項 10】 波長チャンネルがシステムダウンしたとき該システムダウンした波長チャンネル以外の波長チャンネルに影響を与えないように前記パラメータを自動的に変更する手段を備え、

該変更されたパラメータに基づいて前記収集手段による前記パラメータ収集及び前記制御手段による制御を行うことを特徴とする請求項 8 記載の光伝送システム。

【請求項 11】 前記各装置を複数備え、

前記符号誤り率が最小又は前記Q値が最大になるように前記複数の各装置の組み合わせを選択することを特徴とする請求項 1 記載の光伝送システム。

【請求項 12】 前記各装置を複数備え、

前記符号誤り率が最小又は前記Q値が最大になるように前記複数の各装置を組み合わせ、前記制御手段による制御を自動的に行うことを特徴とする請求項 11 記載の光伝送システム。

【請求項 13】 前記各装置毎に伝送路ファイバの波長分散を補償する分散補償器を備え、

前記分散補償器は、該分散補償量を前記収集手段を経由して前記制御手段により制御可能にしたことを特徴とする請求項 1 記載の光伝送システム。

【請求項 14】 請求項 1 又は 8 の何れかに記載の光伝送システムにおいて、

光送信器が、波長チャープ量を制御する手段を備え、該波長チャープ量を前記収集手段を経由して前記制御手段により制御可能にしたことを特徴とする光伝送システム。

【請求項 15】 複数の光波長により伝送する光伝送システムであって、

各信号波長をパラメータとして検出及び収集する手段を備え、

前記制御手段は、シミュレーションにより四光波混合を生じない波長条件を算出し、該波長条件に一致するように制御することを特徴とする請求項 8 記載の光伝送システム。

【請求項 16】 請求項 1 又は 8 の何れかに記載の光伝

送システムにおいて、
光送信器の光出力波形から光周波数変動を検出し、該周波数変動量に相関する波長チャープ量を前記収集手段を経由して監視可能にしたことを特徴とする光伝送システム。

【請求項 17】 請求項 1 又は 8 の何れかに記載の光伝送システムにおいて、
光送信器の光出力波形の消光比を検出する消光比検出手段を備え、該消光比を前記収集手段を経由して監視可能にしたことを特徴とする光伝送システム。

【請求項 18】 請求項 1 記載の光伝送システムにおいて、
光受信器の受信波形のレベルを、しきい値電圧を用いて検出する検出手段を備え、検出した受信波形のレベル及び前記しきい値電圧を前記収集手段を経由して監視可能にしたことを特徴とする光伝送システム。

【請求項 19】 請求項 1 記載の光伝送システムにおいて、
伝送路ファイバの入力端における入力光パワー及び該伝送路ファイバからの戻り光パワーをモニタする手段と、
光送信器の光源のスペクトル線幅を外部から制御可能な手段とを備え、
前記モニタ手段の出力を基に前記スペクトル線幅を外部から制御して誘導ブリルアン散乱を自動的に抑制するようにしたことを特徴とする光伝送システム。

【請求項 20】 請求項 1 又は 8 の何れかに記載の光伝送システムにおいて、

光送信側は、
光送信器の光源と、変調された波長可変光源及び参照光源とを波長多重して伝送路ファイバに送出する手段を備え、

光受信側は、
伝送された光信号を少なくとも 3 つの波長の光信号に分離する手段と、

光送信器からの波長の光信号を受信する光受信器と、
前記波長可変光源からの波長の光信号を電気に変換する第 1 の受光素子と、

前記参照光源からの波長の光信号を電気に変換する第 2 の受光素子と、

前記第 1 の受光素子からの波長の光信号と前記第 2 の受光素子からの波長の光信号の位相差を検出する手段とを備え、

前記制御手段は、

前記位相差を基に伝送路の波長分散を算出し、該算出値により各パラメータの最適化を行い、最適化されたパラメータに基づいて符号誤り率が最小又は Q 値が最大になるように前記各装置を制御することを特徴とする光伝送システム。

【請求項 21】 光端局装置及び中継装置を備えた光伝送システムの監視制御方法において、

前記各装置における伝送品質の劣化要因をパラメータとして設定しておく、

シミュレータが、前記各装置の状態を監視して前記パラメータを収集し、

収集したパラメータに基づいて符号誤り率、Q 値又は四光波混合を生じない波長条件をシミュレーションして、該符号誤り率が最小又は該 Q 値が最大になるように、又は該四光波混合を生じない波長条件が得られるように前記各装置を制御することを特徴とする光伝送システムの監視制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光伝送システム及びその監視制御方法に関し、特に、光伝送シミュレータを用いた光伝送システム及びその監視制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】大容量光中継システムにおいて、光を電氣的に終端せずに直接増幅する光増幅回路を利用した光通信システムの採用が近年活発になってきている。また、一つの光増幅器でより多くの光信号を伝送するために、波長多重、双方向の光増幅回路も開発されている。光増幅器は、光信号を電氣的終端をせずに、励起光で直接アナログ的に増幅する。このため、光増幅器を線形中継器に適用した場合、光増幅器を監視制御するために主信号とは別に監視制御光を設け、線形中継器で電氣的終端を行う必要がある。

【0003】従来の光伝送システム（例えば、光伝送装置、光交換装置など）では、信号ロスまたはフレーム同期はずれなどの重大警報が発生したとき、自装置（送信回路・受信回路）、対向装置（送信回路・受信回路）、伝送路（送信側・受信側）の何処の故障によって警報が発生したかを調査し、故障箇所を特定するため、また、装置導入時に自装置が正常に動作するかどうかの試験を実施するためにループバック回路を設けている。

【0004】光伝送システムにおいて、符号誤り等の問題が発生した場合には、警報を発し予備回線に切り替えた後、故障要素（パッケージ）を特定して故障要素を交換していた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながらこのような従来の光伝送システムにあっては、以下に述べるような問題点があった。

【0006】すなわち、伝送路上において 1 箇所でも不具合が発生しただけで、その回線は使えなくなり、予備回線に切り替えなければならない。

【0007】また、各構成要素及び装置（例えば、光送信装置、光受信装置、光中継装置など）毎にマージンが必要のため、システム全体では多くのマージンをとらなければならない。

【0008】特に、光増幅器を用いた光伝送システムでは、光伝送路ファイバへの入力パワーを大きく取り、SNマージンを確保しているが、反面、入力パワーを大きく取ることにより光伝送路ファイバ中での非線形効果を生じ、伝送品質の劣化につながる。このような状態で光増幅器の出力パワーの変動があると、更にシステムマージンが取れなくなる。

【0009】本発明は、より多くのシステムマージンを取ることで光伝送システム及びその監視制御方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明に係る光伝送システムは、光端局装置及び中継装置を備えた光伝送システムにおいて、各装置における伝送品質の劣化要因をパラメータとして設定する設定手段と、各装置の状態を監視し、パラメータを収集する収集手段と、収集されたパラメータに基づいて符号誤り率又はQ値をシミュレーションにより求め、該符号誤り率が最小又は該Q値が最大になるように各装置を制御する制御手段とを備えている。

【0011】本発明に係る光伝送システムは、各装置が、少なくとも光送信器、光ファイバ、光増幅器、光フィルタ又は光受信器の何れか1以上を備え、パラメータが、光送信器では、擬似ランダム符号パターン段数、伝送速度、信号波長、光送信器出力の波長チャープ量及び消光比、又は光送信器の光出力SN比を、光ファイバでは、各波長における1次分散値及び2次分散値、非線形定数、ファイバ長、ファイバの伝送損失、又は入力光パワーを、光増幅器では、信号利得、NF（雑音指数）、又は入出力光パワーを、光フィルタでは、透過帯域幅、又は挿入損失を、光受信器では、光／電気変換効率、受信帯域（電気）、又はQ値の何れかを用いるものであってもよい。

【0012】本発明に係る光伝送システムは、各装置に監視線を接続し、監視線を用いて収集手段によりパラメータを自動的に収集するとともに、監視線を介して制御手段により各装置に対する制御を自動的に行うものであってもよい。

【0013】本発明に係る光伝送システムは、各装置毎に、収集手段及び制御手段を分散的に配置したものであってもよい。

【0014】本発明に係る光伝送システムは、各装置毎に、収集手段及び制御手段を分散的に配置し、かつ独立して制御を行うものであってもよい。

【0015】本発明に係る光伝送システムは、上り回線及び下り回線からなる伝送路を備え、伝送路を介して収集手段によるパラメータ収集及び制御手段による制御を行うものであってもよい。

【0016】本発明に係る光伝送システムは、異なる光波長で、かつ双方向伝送が可能な伝送路を備え、伝送路を介して収集手段によるパラメータ収集及び制御手段に

よる制御を行うものであってもよい。

【0017】本発明に係る光伝送システムは、複数の光波長により伝送する光伝送システムであって、各波長において最適な状態になるように設定手段によるパラメータの設定、収集手段によるパラメータ収集及び制御手段による制御を行うものであってもよい。

【0018】本発明に係る光伝送システムは、波長チャンネルを変更したときパラメータを自動的に変更する手段を備え、該変更されたパラメータに基づいて収集手段によるパラメータ収集及び制御手段による制御を行うものであってもよい。

【0019】本発明に係る光伝送システムは、波長チャンネルがシステムダウンしたとき該システムダウンした波長チャンネル以外の波長チャンネルに影響を与えないようにパラメータを自動的に変更する手段を備え、該変更されたパラメータに基づいて収集手段によるパラメータ収集及び制御手段による制御を行うものであってもよい。

【0020】本発明に係る光伝送システムは、各装置を複数備え、符号誤り率が最小又はQ値が最大になるように複数の各装置の組み合わせを選択するものであってもよい。

【0021】本発明に係る光伝送システムは、各装置を複数備え、符号誤り率が最小又はQ値が最大になるように複数の各装置を組み合わせ、制御手段による制御を自動的に行うものであってもよい。

【0022】本発明に係る光伝送システムは、各装置毎に伝送路ファイバの波長分散を補償する分散補償器を備え、分散補償器は、該分散補償量を収集手段を経由して制御手段により制御可能にしたものであってもよい。

【0023】本発明に係る光伝送システムは、光送信器が、光源のチャープ係数を制御する手段を備え、波長チャープ量を収集手段を経由して制御手段により制御可能にしたものであってもよい。

【0024】本発明に係る光伝送システムは、複数の光波長により伝送する光伝送システムであって、各信号波長をパラメータとして検出及び収集する手段を備え、制御手段は、シミュレーションにより四光波混合を生じない波長条件を算出し、該波長条件に一致するように制御するものであってもよい。

【0025】本発明に係る光伝送システムは、光送信器の光出力波形から光周波数変動を検出し、該周波数変動量に相関する波長チャープ量を収集手段を経由して監視可能にしたものであってもよい。

【0026】本発明に係る光伝送システムは、光送信器の光出力波形の消光比を検出する消光比検出手段を備え、該消光比を収集手段を経由して監視可能にしたものであってもよい。

【0027】本発明に係る光伝送システムは、光受信器の受信波形のレベルを、しきい値電圧を用いて検出する

検出手段を備え、検出した受信波形のレベル及びしきい値電圧を収集手段を経由して監視可能にしたものであってもよい。

【００２８】本発明に係る光伝送システムは、伝送路ファイバの入力端における入力光パワー及び該伝送路ファイバからの戻り光パワーをモニタする手段と、光送信器の光源のスペクトル線幅を外部から制御可能な手段とを備え、モニタ手段の出力を基にスペクトル線幅を外部から制御して誘導ブリルアン散乱を自動的に抑制するようにしたものであつてもよい。

【００２９】本発明に係る光伝送システムは、光送信側が、光送信器の光源と、変調された波長可変光源及び参照光源とを波長多重して伝送路ファイバに送出する手段を備え、光受信側が、伝送された光信号を少なくとも３つの波長の光信号に分離する手段と、光送信器からの波長の光信号を受信する光受信器と、波長可変光源からの波長の光信号を電氣に変換する第１の受光素子と、参照光源からの波長の光信号を電氣に変換する第２の受光素子と、第１の受光素子からの波長の光信号と第２の受光素子からの波長の光信号の位相差を検出する手段とを備え、制御手段が、位相差を基に伝送路の波長分散を算出し、該算出値により各パラメータの最適化を行い、最適化されたパラメータに基づいて符号誤り率が最小又はＱ値が最大になるように各装置を制御するものであつてもよい。

【００３０】本発明に係る光伝送システムの監視制御方法は、光端局装置及び中継装置を備えた光伝送システムの監視制御方法において、各装置における伝送品質の劣化要因をパラメータとして設定しておき、シミュレータが、各装置の状態を監視してパラメータを収集し、収集したパラメータに基づいて符号誤り率、Ｑ値又は四光波混合を生じない波長条件をシミュレーションして、該符号誤り率が最小又は該Ｑ値が最大になるように、又は該四光波混合を生じない波長条件が得られるように各装置を制御するものであつてもよい。

【００３１】

【発明の実施形態】本発明に係る光伝送システム及びその監視制御方法は、基幹伝送システムや光加入者ネットワークシステム等に用いられる光伝送システムに適用することができる。

【００３２】第１の実施形態

図１は本発明の第１の実施形態に係る光伝送シミュレータを用いた光伝送システムの概要を示す図である。光ファイバ増幅器として、ＥＤＦＡ（Erbium-Doped Fiber Amplifier：エルビウムドープ光ファイバ増幅器）を用いている。

【００３３】図１において、１０は光信号を送信する光送信装置（ＴＸ）（光送信器）、１１は光ファイバからなる光伝送路、１２は光信号を増幅する光アンプを備えた中継器、１３は光信号を受信する光受信装置（ＲＸ）

（光受信器）、１４は各装置をモニタ制御するインターフェース部（ＳＶ）、１５は電話、監視ネットワーク等の通信手段によりインターフェース部（ＳＶ）１４に接続された各構成要素の状態を基にシミュレーションを行うシミュレータである。

【００３４】上記光送信装置（ＴＸ）１０は、電氣光変換を行い、特定の波長の光信号として送信する。また、信頼性を高めるため、例えば予備系を含めた２重構成となっており、同一の装置０系、１系を装備し、通常は片方の系を使用し、異常時に他方の系に切替えて使用する。

【００３５】上記中継器１２は、光信号を増幅する光アンプを備え、受信する光信号をアナログ的に増幅し送信する。

【００３６】上記インターフェース部（ＳＶ）１４は、入出力装置の制御、割り込み処理、パラメータ計測及び制御等を行うスーパーヴァイザリ（ＳＶ）である。

【００３７】上記シミュレータ１５は、ワークステーション及びシミュレーション用アプリケーションなどからなり、各構成要素の特性を基に符号誤り率またはＱ値を推測するシミュレーションを行う。このシミュレーションについては詳細に後述する。

【００３８】図中破線矢印に示す通信手段は、例えば電話、監視ネットワーク等を用いることができるがどのような通信手段であつてもよい。

【００３９】以下、上述のように構成された光伝送システム及びその監視制御方法の動作を説明する。

【００４０】伝送品質の劣化要因は、主に光ＳＮ比（信号対雑音比）とファイバ伝送による波形劣化の２点に大別されるが、光送信器の消光比、光増幅中継器のＮＦ（Noise figure：雑音指数）、光受信器のＱ値、伝送路の損失・分散係数等の各特性以外に、伝送路におけるレベルダイヤによつても決定される。すなわち、中継器・受信器の受信レベルが低すぎると光ＳＮが劣化し、逆にファイバ入力レベルが高すぎるとファイバ中での非線形効果により波形劣化を生じる。ここで、レベルダイヤとは、図２に示すように、各光ファイバ、光中継器、光増幅器の入出力光パワーを伝送路長手方向に対して表示するダイヤグラムをいう。

【００４１】したがって、これらの伝送品質の劣化要因となるパラメータをモニタ・制御することにより、最適な、すなわちシステムマージンが最大になるようにすることができる。システムマージンを最大にするには、光受信装置でのＱ値をもって最適化すればよいが、それには符号誤り率を測定しなければならず非効率的であり、またシステム運用中は不可能である。

【００４２】そこで本実施形態では、上記各特性を実測し、実測値をインターフェース部（ＳＶ）１４を介してシミュレータ１５に送り、シミュレータ１５により符号誤り率又はＱ値を推測し、システムマージンが最大にな

るようレベルダイヤを調整したり、光受信器のレベル識別点を調節する。

【0043】シミュレータ15に必要なパラメータは、各装置毎に以下のようなものがある。

【0044】・光送信器

擬似ランダム符号パターン段数、伝送速度、信号光波長、光変調器の α パラメータ及び消光比、光送信器の光出力SN比

・光ファイバ（伝送路用ファイバ、分散補償用ファイバ）

信号光波長における1次分散値及び2次分散値、非線形定数、ファイバ長、ファイバの伝送損失、入力光パワー

・光増幅器

信号利得、NF（雑音指数）、入出力光パワー

・光フィルタ（光受信器前に挿入するASE（Amplified Spontaneous Emission）雑音（光増幅器で発生する雑音）除去用）

透過帯域幅、挿入損失

・光受信器

光／電気変換効率、受信帯域（電気）、Q値

次に、システムマージンを最大にする手順について説明する。

【0045】システムマージンを最大にするとは、最終的に光受信器で識別するときのQ値を最大（または誤り率を最小）にすることをいう。

【0046】(1)パラメータの収集

システムインストール時に測定されているもの以外（すなわち、光送信器の消光比、光出力SN比、各光ファイバへの入力パワー、光増幅器（送信アンプ、中継アンプ、受信アンプ）の入出力パワー）は、各装置でモニターする。パラメータは、各パッケージ、ユニット、装置単位で監視インタフェースを有し、例えば10BASE-Tで監視網に接続し、装置外のオペレーションシステムのワークステーション（WS）に通達する。

【0047】(2)最適パラメータの算出

上記ワークステーション（WS）にシミュレータが搭載されており、必要なパラメータが入力される。この場合、ネットワークインストール後制御可能なパラメータは、上述した各光増幅器の出力パワー等である。光受信器で識別される電気信号のQ値は、光増幅器で発生する雑音と、ファイバ内での非線形効果による波形劣化で決定される。光受信器のレベル識別点は出荷時に最適化されているものとする。

【0048】上記光増幅器の光出力S/N比は、光増幅器への入力パワーが高い程（すなわち、前段の光増幅器の出力パワーが大きい程）大きい程、逆にファイバ内での非線形効果による波形劣化は著しくなる。したがって、Q値を最大にするための各光増幅器の光出力パワーが算出される。

【0049】(3)パラメータの制御

上記(1)パラメータ収集の逆の手順でシミュレータから各光増幅器が搭載されるパッケージへ最適な光出力パワーになるように制御する。

【0050】次に、上記シミュレータ15の動作を図3～図11を用いて説明する。

【0051】図3はシミュレータ15のシミュレーションの概略を示す図である。図中、上段はシステムセットアップ、中段は計算内容、下段は入出力データを、それぞれ光送信装置（Transmitter）、光伝送路（Optical link）及び光受信装置（Receiver）毎に示したものである。

【0052】図3の光伝送路（Optical link）では、光アンプ（LA）を通る光ファイバには λ_1 から λ_n までの n 個の波長が多重されていることを示す。第1の実施形態では、 $n=1$ である。

【0053】光信号は、光受信装置（Receiver）に伝送され、光受信装置の光／電気変換回路で光電変換後アンプで増幅され、識別再生される。光／電変換効率等のパラメータは、A/D変換回路でアナログ／デジタル変換される。アナログ／デジタル変換された信号は、例えばCPUに入力され、SVを介してシミュレータに送られる。

【0054】具体的に説明すると、光送信装置には、入力データとして信号光波長、信号光入力パワー、光信号パターン、波長チャープパラメータが供給され、光ON/OFFパターン及び波長チャープパラメータを用いた光信号シーケンスによって計算する。計算シーケンスについては図4に示されるがこれについては後述する。

【0055】光伝送路では、光ファイバの特性としては、GVD（Group Velocity Delay：群速度分散）、SPM（Self Phase Modulation：自己位相変調効果）、XPM（Cross Phase Modulation：波長多重伝送時の波長間相互作用）、FWM（FourWave Mixing：四光波混合（波長多重伝送時の混合による非線形現象））がありこれらの特性と、光アンプ（LA）にはゲインチルト（gain-tilt：利得波長依存）とASE（Amplified Spontaneous Emission：増幅された自然放出光）集積による歪みがある。

【0056】光伝送路におけるシミュレーション計算では、光ファイバ中の信号波形は、Split-Step-Fourier法で解析する。光ファイバ増幅器として、EDFA（Erbium-Doped Fiber Amplifier）を用い、利得（gain）及びASE雑音から信号を評価する。光伝送路におけるシミュレーション計算で使用するデータには、光ファイバについてはファイバ長、伝送損失、分散（1次、2次）、非線形定数（ n_2 ）があり、EDFAには利得、NF（Noise figure：雑音指数）がある。

【0057】図4はシミュレータ15のシミュレーション計算の流れを示す図である。

【0058】図4において、入力データとして、平均信

号光パワー、光信号パターン、波長チャープパラメータを入力する。接続デバイスとして、光ファイバ（例えば、SMF（Single mode fiber：シングルモードファイバ）、DSF（Dispersion shift fiber：分散シフトファイバ）、DCF（Dispersion Compensation fiber：分散補償ファイバ）、EDFA、光フィルタ及びその他の損失デバイスが接続されているものとする。

【0059】上記光ファイバの各種損失と、EDFAの光アンプ（LA）の利得、ゲインチルト、ASE集積を基に計算を行う。基本データ及び計算結果はデータは逐次データファイルに保存され、計算シーケンスはデータファイルを使用して制御される。シミュレーションが終了すると、出力データとして光スペクトラム、受信波形（アイパターン）、BER（Bit-Error Rate：符号誤り率）が得られる。

【0060】図5～図8は符号誤り率及びパワーペナルティの状態を示す特性図であり、図5は受信電流波形図、図6は受信電気信号の雑音密度分布を示す図、図7は光受信電力と符号誤り率との関係を示す図、図8は距離に対するパワーペナルティを示す特性図である。上記シミュレーション計算では、図5から図8を求めるような流れで計算が行われる。ここで、パワーペナルティとは、最小受光電力の伝送距離0 kmの場合に対する相対値の伝送距離依存性をいう。

【0061】図9～図11は実際に上記シミュレータ15を適用した結果を示す図である。図9はシングルチャンネル（1波長）計算時とWDM（波長多重）計算時の適応条件を示す図、図10及び図11は図9の適応条件によりシミュレーションで得られた符号誤り率、及びパワーペナルティを示す特性図である。第1の実施形態では、シングルチャンネル計算である。

【0062】図1に戻って、特に本実施形態では、光送信装置（TX）10、光伝送路11、中継器12、光受信装置（RX）13の各装置をインターフェース部（SV）14を介してシミュレータ15に送り、シミュレータ15で上述したシミュレーションを行ってBER（符号誤り率）又はQ値を推測し、システムマージンが最大になるようレベルダイヤを調整したり、光受信装置13のレベル識別点を調節する。

【0063】また、システムインストール時は、各装置の検査データを基に、シミュレータ15により上述した計算を行うことにより、どの程度のシステムマージンが得られるかを推測することができる。また、この場合、最適条件を求め、各装置を調整することにより最大のシステムマージンを得ることができる。

【0064】以上説明したように、第1の実施形態に係る光伝送システム及びその監視制御方法は、光送信装置（TX）10、光伝送路11、中継器12、光受信装置（RX）13、各装置をモニタ制御するインターフェース部（SV）14、各構成要素の状態を基にシミュレ

ーションを行うシミュレータ15を備え、各装置における伝送品質の劣化要因をパラメータとして設定しておき、シミュレータ15が、各装置の状態を監視してパラメータを収集し、収集したパラメータに基づいて符号誤り率又はQ値をシミュレーションして、該符号誤り率が最小又は該Q値が最大になるように各装置を制御するようにしているので、システム運用中もより多くのシステムマージンを取ることのできる光伝送システムが実現できる。

【0065】第2の実施形態

図12は本発明の第2の実施形態に係る監視ネットワークを利用した自動計測／制御を行う光伝送システムを示す図である。光ファイバ増幅器として、EDFA（Erbium-Doped Fiber Amplifier：エルビウムドープ光ファイバ増幅器）を用いている。

【0066】図12において、110は送受信器、120は送受信器100を2本の光ネットワークで結ぶ中継器、130は監視ネットワークを使用して各構成要素のパラメータ収集と制御を自動的に行うワークステーション（WS）である。送受信器110と中継器120は、2本の主信号光及び監視制御光を伝送する光ファイバからなる伝送路100で接続される。この光ファイバで双方向に波長多重された主信号光が伝送される。

【0067】送受信器110は、光アンプ111、波長／方向別に光を分離する光カプラ112、電気／光（E/O）変換回路113、光／電気（O/E）変換回路114、インターフェース部（SV）115、及び制御部116から構成され、送信側では電気光変換を行い、特定の波長の光信号として送信し、受信側では特定の波長の光信号を受信・増幅し、光電気変換を行い、分離し例えば加入者回線に振り分ける。

【0068】中継器120は、光アンプ121、波長／方向別に光を分離する光カプラ122、電気／光（E/O）変換回路123、光／電気（O/E）変換回路124、インターフェース部（SV）125、及び制御部126から構成され、受信する光信号をアナログ的に増幅し送信するもので、両側の送受信器110と監視制御光のやりとりをする。

【0069】ワークステーション（WS）130は、シミュレータ及び監視／制御ソフトウェアなどからなり、第1の実施形態で述べたパラメータの共通ファイルを備え、送受信器110及び中継器120等と接続し、伝送路及び装置を監視制御するとともに、この監視ネットワークを使用して各構成要素のパラメータ収集と制御を自動的に行う。

【0070】以下、上述のように構成された監視ネットワークを利用した光伝送システムの動作を説明する。

【0071】送受信器110では、電気光変換を行い、特定の波長の光信号として送信する。また、特定の波長の光信号を受信し、光電気変換を行い、分離し加入者回

線に振り分ける。

【0072】中継器120では、受信する光信号をアナログ的に増幅し送信して、両側の送受信器110と監視制御光のやりとりをする。送受信器110と中継器120間、中継器120間の伝送路は2本の光ファイバで構成され、この光ファイバで双方向に波長多重された主信号光が伝送される。

【0073】送受信器110と中継器120間を伝送する監視制御光は、上記主信号光とは別波長の制御光であり、システム全体で単一の波長を用い、伝送路、送受信器110、中継器120の状態に応じて、光ファイバに波長多重される。監視制御光は、システム全体で単一波長を用いることから、単方向伝送であり、同じファイバに方向が逆向きの監視制御光が多重されることはない。

【0074】ここで、ワークステーション(WS)130では、上り／下りの2回線で各パラメータの監視／制御を一定周期で行う。

【0075】また、上記パラメータを格納した共通データファイルを介して、ワークステーション(WS)130のシミュレータはパラメータの収集と、最適パラメータの設定を行う。

【0076】このように、第2の実施形態では、各装置を、監視制御を行う監視ネットワークに組み込み、この監視ネットワークを使用して各構成要素のパラメータ収集と制御を自動的に行うようにしているので、サービス運用中も常に光伝送システムを最適状態に保つことができる。

【0077】第3の実施形態

図13は本発明の第3の実施形態に係る光伝送シミュレータを用いた光伝送システムの概要を示す図である。本実施形態に係る光伝送システムの説明にあたり前記図1と同一構成部分には同一符号を付している。

【0078】図13において、10は光信号を送信する光送信装置(TX)、11は光ファイバからなる光伝送路、12は光信号を増幅する光アンプを備えた中継器、13は光信号を受信する光受信装置(RX)、14は各装置をモニタ制御するインターフェース部(SV)、15は電話、監視ネットワーク等の通信手段によりインターフェース部(SV)14に接続された各構成要素の状態を基にシミュレーションを行うシミュレータである。

【0079】シミュレータ15は、各構成要素毎に分散的に設置されている。また、分散的に配置されたシミュレータ15は、図中破線矢印に示す通信手段(電話、監視ネットワーク等)により接続される。

【0080】シミュレータ15の分散配置は、例えば以下のようにする。すなわち、光送信装置(TX)10や中継器12が設置されている局舎・サイトには、監視用のワークステーション(WS)が設置されている。この監視用のワークステーション(WS)に、上述したシミュレーションを行うアプリケーションを導入し、シミュ

レータ15として使用する。

【0081】このように構成することにより、各中継区間毎の解析を各ワークステーション(WS)で並列的にシミュレーションすることができ、1台の監視用のワークステーション(WS)で上記シミュレーションする場合に比べて処理速度を向上させることができる。

【0082】ここで、図13において、破線に示す通信手段を無効にし、各構成要素毎に分散的に設置されたシミュレータ15によるモニタ・制御範囲を各構成要素に限定して、シミュレータ15を独立に制御するようにすれば、処理速度をより一層向上させることができる。

【0083】第4の実施形態

図14は本発明の第4の実施形態に係る光伝送シミュレータを用いた光伝送システムの概要を示す図である。本実施形態に係る光伝送システムの説明にあたり前記図1と同一構成部分には同一符号を付している。

【0084】図14において、20は特定の波長の光信号を多重化して送信する光送信装置(TX)(光送信器)、21は光ファイバからなる光伝送路、22は光信号を増幅する光アンプを備えた中継器、23は多重化された光信号を受信する光受信装置(RX)(光受信器)、14は各装置をモニタ制御するインターフェース部(SV)、15は電話、監視ネットワーク等の通信手段によりインターフェース部(SV)14に接続された各構成要素の状態を基にシミュレーションを行うシミュレータである。

【0085】図14は、上り回線と下り回線とを、光送信装置(TX)20、光伝送路21、中継器22及び光受信装置(RX)23で接続した例である。

【0086】光送信装置(TX)20、中継器22、光受信装置(RX)23は、波長多重により光信号が伝送できる構成となっており、光伝送路21には図中破線に示す監視・制御信号が波長多重により重畳されて伝送される。

【0087】この場合、上り回線と下り回線の光送信装置(TX)20と光受信装置(RX)23間を伝送する監視・制御信号は、信号光(主信号光)とは別波長の制御光であり、システム全体で単一の波長を用い、伝送路、多重化器、中継器の状態に応じて、m本ファイバのうちの任意の一本に波長多重される。この監視制御光は、システム全体で単一波長を用いることから、単方向伝送であり、同じファイバに方向が逆向きの監視制御光が多重されることはない。

【0088】以上の構成において、監視・制御信号を波長多重により光伝送路21に重畳させることにより、監視網を別途用意することなく、各装置のモニタ・制御が可能になる。

【0089】第5の実施形態

図15は本発明の第5の実施形態に係る光伝送シミュレータを用いた光伝送システムの概要を示す図である。本

実施形態に係る光伝送システムの説明にあたり前記図 14 と同一構成部分には同一符号を付している。

【0090】図 15 において、20 は特定の異なる波長の光信号を多重化して送信する光送信装置 (TX) (光送信器)、21 は光ファイバからなる光伝送路、22 は光信号を増幅する光アンプを備えた中継器、23 は多重化された光信号を受信する光受信装置 (RX) (光受信器)、14 は各装置をモニタ制御するインターフェース部 (SV)、15 は電話、監視ネットワーク等の通信手段によりインターフェース部 (SV) 14 に接続された各構成要素の状態を基にシミュレーションを行うシミュレータである。

【0091】図 15 は、上り回線と下り回線とを、1 本の光伝送路 21 を介して接続し、上り回線用と下り回線用で異なる波長 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ の監視・制御信号を波長多重により重畳し、双方向伝送により伝送するものである。

【0092】以上の構成において、監視・制御信号を上り・下りで異なる波長 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ で伝送することにより、1 本の伝送路で、各装置のモニタ・制御が可能になる。

【0093】第 6 の実施形態

図 16 は本発明の第 6 の実施形態に係る光伝送シミュレータを用いた光伝送システムの概要を示す図である。本実施形態に係る光伝送システムの説明にあたり前記図 1 と同一構成部分には同一符号を付している。

【0094】図 16 において、30、31 は異なる波長の光信号を送信する光送信装置 (TX) (光送信器)、32 は送信側 WDM、11 は光ファイバからなる光伝送路、12 は光信号を増幅する光アンプを備えた中継器、33 は受信側 WDM、34、35 は異なる波長の光信号を受信する光受信装置 (RX) (光受信器)、14 は各装置をモニタ制御するインターフェース部 (SV)、15 は電話、監視ネットワーク等の通信手段によりインターフェース部 (SV) 14 に接続された各構成要素の状態を基にシミュレーションを行うシミュレータである。

【0095】送信側 WDM 32 は、光送信装置 (TX) 30、31 からの光信号を光ファイバ 11 へ波長多重できるようにするものであり、受信側 WDM 33 は光ファイバ 11 からの光信号を波長分離して光受信装置 (RX) 34、35 に出力するものである。

【0096】以下、上述のように構成された光伝送システム及びその監視制御方法の動作を説明する。

【0097】通常、光増幅器を用いて波長多重伝送する場合、光増幅器の波長依存性により、各波長間の光レベルに差が生じる。第 1 の実施形態で述べたように、光レベルにより光ファイバ中の非線形効果と光 SN が変わるため、各波長毎に光レベルを最適に、すなわち光ファイバ中の非線形効果と光 SN により決まるマージンが最大になるよう調整する必要がある。

【0098】そこで本実施形態では、異なる波長の光信

号を送受信する光送信装置 (TX) 30、31 及び光受信装置 (RX) 34、35 を、インターフェース部 (SV) 14 を介してシミュレータ 15 にそれぞれ接続し、各装置の特性を実測し、実測値をインターフェース部 (SV) 14 を介してシミュレータ 15 に送り、シミュレータ 15 により符号誤り率又は Q 値を推測し、システムマージンが最大になるよう各波長のレベルダイヤを調整したり、光受信器のレベル識別点を調節する。

【0099】本実施形態は、前記第 1 の実施形態に係る光伝送システムに、新たな波長チャンネルを増設する場合等に適用することができ、各波長毎に独立してモニタ・制御することにより最適な状態に自動制御することができる。

【0100】第 7 の実施形態

図 17 は本発明の第 7 の実施形態に係る光伝送シミュレータを用いた光伝送システムの概要を示す図である。本実施形態に係る光伝送システムの説明にあたり前記図 14 及び図 16 と同一構成部分には同一符号を付している。

【0101】第 7 の実施形態は、上記第 6 の実施形態に係る光伝送シミュレータを、前記第 4 の実施形態のように異なる波長の光信号を伝送する波長多重伝送システムに適用したものである。

【0102】図 17 において、30、31 は異なる波長の光信号を送信する光送信装置 (TX)、32 は送信側 WDM、21 は光ファイバからなる光伝送路、22 は光信号を増幅する光アンプを備えた中継器、33 は受信側 WDM、34、35 は異なる波長の光信号を受信する光受信装置 (RX)、14 は各装置をモニタ制御するインターフェース部 (SV)、15 は電話、監視ネットワーク等の通信手段によりインターフェース部 (SV) 14 に接続された各構成要素の状態を基にシミュレーションを行うシミュレータであり、上り回線と下り回線とを、光送信装置 (TX) 30、31、送信側 WDM 32、光伝送路 21、中継器 22、受信側 WDM 33 及び光受信装置 (RX) 34、35 で接続した例である。

【0103】光送信装置 (TX) 30、31、中継器 22、光受信装置 (RX) 34、35 は、波長多重により光信号が伝送できる構成となっており、光伝送路 21 には図中破線に示す監視・制御信号が波長多重により重畳されて伝送される。

【0104】このように、波長多重伝送するシステムにおいて、監視・制御信号を波長多重により重畳して伝送することにより、監視網を別途用意することなく、各装置のモニタ・制御が可能になる。

【0105】第 8 の実施形態

図 18 は本発明の第 8 の実施形態に係る光伝送シミュレータを用いた光伝送システムの概要を示す図である。本実施形態に係る光伝送システムの説明にあたり前記図 17 と同一構成部分には同一符号を付している。

【0106】図18において、30、31は異なる波長の光信号を送信する光送信装置(TX)、32は送信側WDM、21は光ファイバからなる光伝送路、22は光信号を増幅する光アンプを備えた中継器、33は受信側WDM、34、35は異なる波長の光信号を受信する光受信装置(RX)、14は各装置をモニタ制御するインターフェース部(SV)、15は電話、監視ネットワーク等の通信手段によりインターフェース部(SV)14に接続された各構成要素の状態を基にシミュレーションを行うシミュレータであり、上り回線と下り回線とを、1本の光伝送路21を介して接続し、上り回線用と下り回線用で異なる波長 λ_1 、 λ_2 の監視・制御信号を波長多重により重畳し、双方向伝送により伝送するものである。

【0107】このように、波長多重伝送するシステムにおいて、監視・制御信号を上り・下りで異なる波長 λ_1 、 λ_2 で双方向伝送することにより、1本の伝送路で、各装置のモニタ・制御が可能になる。

【0108】第9の実施形態

前記図18に示すような波長多重伝送する光伝送システムにおいて、波長チャンネルを増設する場合(例えば、図18で波長の異なる光送信装置(TX)を重畳する場合)、他波長の信号の光出力レベルが変動したり、波長間の相互作用(四光子混合やクロストーク等)を生じることがある。

【0109】そこで本実施形態では、波長チャンネルを増設する場合、各波長のレベルや波長間隔をモニタし、シミュレータ15により符号誤り率又はQ値を推測し、システムマージンが最大になる光出力レベルや、光受信器のレベル識別点になるように制御する。

【0110】このように構成することにより、波長チャンネルを増設する場合、最適な状態に自動的に制御することが可能になる。

【0111】第10の実施形態

前記図18に示すような波長多重伝送する光伝送システムにおいて、前記第9の実施形態の場合とは逆に、システム運用中に、ある波長チャンネルがシステムダウンして欠落した場合、同様に、他波長の信号の光出力レベルが変動したり、波長間の相互作用に変化が生じる。

【0112】そこで本実施形態では、ある波長チャンネルがシステムダウンした場合、各波長のレベルや波長間隔をモニタし、シミュレータ15により符号誤り率又はQ値を推測し、システムマージンが最大になる光出力レベルや、光受信器のレベル識別点になるように制御する。

【0113】このように構成することにより、ある波長チャンネルがシステムダウンした場合、最適な状態に自動的に制御することが可能になる。また、システム運用中の波長チャンネルのシステムダウンではなく、システムの変更等で波長チャンネルに増減又は変更があったと

きも同様の自動制御が可能である。

【0114】第11の実施形態

図19は本発明の第11の実施形態に係る光伝送シミュレータを用いた光伝送システムの概要を示す図である。本実施形態に係る光伝送システムの説明にあたり前記図1と同一構成部分には同一符号を付している。

【0115】図19において、40、41は光信号を送信する光送信装置(TX1、TX2)、42、43は光ファイバからなる光伝送路、44、45は光信号を増幅する光アンプを備えた中継器、46、47は光信号を受信する光受信装置(RX1、RX2)、14は各装置をモニタ制御するインターフェース部(SV)、15は電話、監視ネットワーク等の通信手段によりインターフェース部(SV)14に接続された各構成要素の状態を基にシミュレーションを行うシミュレータである。

【0116】図19に示すように、光送信装置(TX1、TX2)40、41、光伝送路42、43、中継器44、45、光受信装置(RX1、RX2)46、47の各構成要素が複数装備した構成となっている。

【0117】以下、上述のように構成された光伝送システム及びその監視制御方法の動作を説明する。

【0118】前記第1の実施形態で述べたように、システムマージンは、光送信器の消光比、光増幅中継器のNF(雑音指数)、光受信器のQ値等、各構成要素の特性に依存する。各構成要素が複数装備された場合には、システムマージンはそれらの組み合わせに依存する。

【0119】例えば、消光比の良い光送信器に対してはQ値の悪い光受信器でもある程度のシステムマージンが確保されていればよい場合がある。逆に、特性の悪い送受信器の組み合わせでは、システムマージンはある程度確保されても、マージンは少ない。このような場合、システムマージンがばらつくよりは、平均化された方が総合的なシステムマージンは大きい。

【0120】そこで本実施形態では、上記のようなシステム全体としてのシステムマージンを、シミュレータ15により計算し、総合的なシステムマージンが最大になるような構成要素の組み合わせを選択する。

【0121】このように構成することにより、総合的なシステムマージンを大きくとることが可能になる。

【0122】第12の実施形態

図20は本発明の第12の実施形態に係る光伝送シミュレータを用いた光伝送システムの概要を示す図である。本実施形態に係る光伝送システムの説明にあたり前記図19と同一構成部分には同一符号を付している。

【0123】図20において、40、41は光信号を送信する光送信装置(TX1、TX2)、50は送信側WDM(波長多重)、42は光ファイバからなる光伝送路、44は光信号を増幅する光アンプを備えた中継器、51、52は光信号を電気信号に変換せずに光のまま切り替える光スイッチ又は光チューナブルフィルタ、4

6、47は光信号を受信する光受信装置(RX1、RX2)、14は各装置をモニタ制御するインターフェース部(SV)、15は電話、監視ネットワーク等の通信手段によりインターフェース部(SV)14に接続された各構成要素の状態を基にシミュレーションを行うシミュレータである。

【0124】光スイッチ又は光チューナブルフィルタ51、52と光受信装置(RX1、RX2)46、47は、インターフェース部(SV)14により切り替え制御される。

【0125】このように、光送信装置(TX1、TX2)40、41からの光信号は送信側WDM50で多重化され、光伝送路42、中継器44を伝送して受信側に達し、光スイッチ又は光チューナブルフィルタ51、52で選択されて光受信装置(RX1、RX2)46、47で光受信される。

【0126】以上の構成において、光スイッチ又は光チューナブルフィルタ51、52を使用して、各構成要素の選択・制御することにより、総合的なシステムマージンが最大になるよう自動的に構成要素の組み合わせを選択することができる。また、1本の伝送路で各装置のモニタ・制御を行うことができる。

【0127】第13の実施形態

図21は本発明の第13の実施形態に係る光伝送シミュレータを用いた光伝送システムの概要を示す図である。本実施形態に係る光伝送システムの説明にあたり前記図1と同一構成部分には同一符号を付している。

【0128】図21において、10は光信号を送信する光送信装置(TX)(光送信器)、11は光ファイバからなる光伝送路、60は伝送路ファイバ11の波長分散を補償する分散補償器を備えた光中継器、70は伝送路ファイバ11の波長分散を補償する分散補償器を備え、光信号を受信する光受信装置(RX)(光受信器)、14は各装置をモニタ制御するインターフェース部(SV)、15は電話、監視ネットワーク等の通信手段によりインターフェース部(SV)14に接続された各構成要素の状態を基にシミュレーションを行うシミュレータである。

【0129】光中継器60は、光信号を増幅する光アンプを備え、受信する光信号をアナログ的に増幅し送信する中継器12と、波長分散を補償する分散補償器(DC)61とから構成される。

【0130】光受信装置(RX)70は、光信号を増幅する光アンプ12を備え、伝送路ファイバ11や分散補償器61の損失分を補償し、波長分散を補償する分散補償器(DC)61と、光信号を受信する光受信器(RX)13とから構成される。

【0131】分散補償器(DC)61は、各装置毎に設置され伝送路ファイバの波長分散を補償するもので、その分散補償量はインターフェース部(SV)14経由で

制御される。

【0132】このように、本光伝送システムは、前記図1に示す光中継器12及び光受信装置(RX)13に、光ファイバからなる光伝送路の波長分散を補償する分散補償器(DC)61がそれぞれ付加された構成となっている。図21の例では、この分散補償器(DC)61を光中継器60や光受信装置(RX)70内の光増幅器に内蔵させている。

【0133】図22は上記分散補償器(DC)61の構成を示す図である。

【0134】図22において、分散補償器(DC)61は、複数の分散補償器62(DC1、DC2、…、DCN)と、複数の分散補償器62から任意のものを選択する光スイッチ63とから構成される。

【0135】以下、上述のように構成された光伝送システム及びその監視制御方法の動作を説明する。

【0136】光送信装置(TX)10、光中継器60及び光受信装置(RX)70を備えて構成された光伝送システムにおいて、各装置はインターフェース部(SV)14を経由して、シミュレータ15の計算結果に基づき監視制御される。

【0137】一般に、伝送路ファイバの特性として、大きく2種類のファイバが使用されている。一つは分散シフトファイバ(DSF: Dispersion Shift Fiber)と呼ばれ、1.55 μ m付近の波長分散が零近辺(± 3.5 ps/nm/km)のもの、もう一つはシングルモードファイバ(SMF: Single Mode Fiber)と呼ばれ、1.55 μ m付近の波長分散が比較的大きい(16~20 ps/nm/km)ものである。ここでは、SMFの場合を例に採り説明する。

【0138】伝送路ファイバがSMFの場合、その波長分散を相殺するために、分散補償器が一般に使用される。図21の例では、光中継器60や光受信装置70内の光増幅器に内蔵している。

【0139】実際には、伝送路ファイバの波長分散量にはばらつきがあり、必ずしも分散補償器の分散補償量が最適でない場合がある。図21における分散補償器(DC)61は、インターフェース部(SV)14経由で、その分散補償量を制御可能な構成にすると、伝送路ファイバの波長分散量にはばらつきに対しても、最適な分散補償が可能となる。分散補償量の制御方法としては、例えば図22に示すように、複数の分散補償器62(DC1、DC2、…、DCN)から任意の分散補償器を光スイッチ63により選択することにより行う。

【0140】なお、分散補償量を可変にする手段としては他にも例があり、例えばPLC(Planar Lightwave Circuit)を用いたマッハツェンダ型干渉計型分散補償器(例えば、1994年電子情報通信学会春季大会C-337「PLC型光分散等化器を用いた分散補償実験」瀧口他)を用いてもよい。

【0141】以上説明したように、第13の実施形態に係る光伝送システムでは、各装置毎に伝送路ファイバの波長分散を補償する分散補償器(DC)61を備え、分散補償器(DC)61は、その分散補償量をインターフェース部(SV)14を経由して制御可能にしたので、分散補償量が制御可能な分散補償器(DC)61を、シミュレータの計算結果により制御することにより、符号誤り率を最小又はQ値を最大にすることができ、最大のシステムマージンを得ることができる。

【0142】以上の効果は、伝送路ファイバがDSFの場合についても同様に得られる。すなわち、DSFについても、波長分散量が零付近でばらつきがあり、分散補償量が制御可能な分散補償器により、最大のシステムマージンを得ることができる。

【0143】第14の実施形態

図23は本発明の第14の実施形態に係る光伝送シミュレータを用いた光伝送システムの光送信装置の構成を示す図である。

【0144】本実施形態は、前記図1に示す第1の実施形態に係る光伝送システム、又は前記図18に示す第8の実施形態に係る波長多重伝送システムにおいて、光送信装置のチャープ係数(光源の波長変動量を表す係数)を制御するようにしたものである。具体的な制御方法については報告例(例えば、S.K.Korotky他、"High-speed, low power optical modulator with adjustable chirp parameter", Integrated Photonics Research 1991, TuG2, pp. 53-54)があり、それに基づいた実施形態について以下に説明する。

【0145】図23において、80は光信号を送信する光送信装置(光送信器)であり、光送信装置80は、光源となる半導体レーザ81、光変調器82、光変調駆動回路83、バイアス制御回路84及び出力振幅制御回路85から構成される。

【0146】半導体レーザ81は、特定波長の光信号を出力する光源であり、例えばDFBレーザ(Distribute d Feedback Laser)を用いる。

【0147】光変調器82は、半導体レーザ81からの光出力光を強度変調するマッハツェンダ型の変調器である。

【0148】光変調駆動回路83は、光変調器82のドライバ回路であり、入力電気信号から論理が互いに反転した出力信号を光変調器82の各々の電極に出力する。

【0149】バイアス制御回路84は、光変調器82の各々の電極に印加するバイアス電圧を制御する。

【0150】出力振幅制御回路85は、光変調器82の各々の電極に与える変調波形の振幅を各々独立に制御する。

【0151】このように、本光伝送システムにおける光送信装置80は、波長チャープ量を外部から制御可能に構成される。

【0152】以下、上述のように構成された光伝送システムの動作を説明する。

【0153】一般に伝送路光ファイバの分散量 D (ps/nm)が正の場合、伝送後に光波形は広がり、逆に負の場合は狭まる。但し、これは光源のチャープ係数 α が正の場合($0 < \alpha$)であり、光源のチャープ係数 α が負の場合($\alpha < 0$)には前記伝送路光ファイバの分散量 D は逆の特性を示す。

【0154】図24はチャープ係数 α をパラメータとした場合の波形劣化によるペナルティの分散量 D 依存性を示す特性図である。

【0155】例えば、チャープ係数 $\alpha = 0$ の場合、分散量 D の増加に従い波形なまりによりペナルティが大きくなるが、チャープ係数 α を $\alpha < 0$ にすると、伝送路の分散による波形なまり以上に波形を狭めようとするため、ペナルティが改善される。しかし一方では、 $D < 0$ になると逆に伝送路の分散の影響とチャープ係数 α の影響が共に波形を狭める方向に働くため、急激にペナルティが大きくなる。

【0156】そこで、本光伝送システムでは、上記光送信装置80のチャープ係数 α を外部から制御可能に構成して受信波形の最適化を図る。

【0157】すなわち、図23において、半導体レーザ81からの光出力光は、光変調器82に入力され、光変調器82で強度変調されて光出力される。光変調器82はマッハツェンダ型の変調器であり、分岐された2つの光信号の位相を印可電圧で制御し、干渉の度合いを変えることにより強度変調を行う。光変調器82の各々の電極には、論理が互いに反転した光変調器駆動回路83の出力信号が与えられ、各々の信号の振幅が出力振幅制御回路85により制御される。更に各々の電極に印加するバイアス電圧がバイアス制御回路84により制御される。このように制御することによりチャープ係数 α が制御される。

【0158】以上説明したように、第14の実施形態では、光伝送システムの光送信装置80が、光源となる半導体レーザ81、光変調器82、光変調駆動回路83、バイアス制御回路84及び出力振幅制御回路85を備え、波長チャープ係数をインターフェース部(SV)14を経由して外部から制御可能に構成したので、伝送路の分散量の変化に対して、光源のチャープ係数を制御することにより、受信波形が最適化でき、最大のシステムマージンを得ることができる。

【0159】第15の実施形態

図25は本発明の第15の実施形態に係る光伝送シミュレータを用いた光伝送システムの概要を示す図である。本実施形態に係る光伝送システムの説明にあたり前記図16と同一構成部分には同一符号を付している。

【0160】図25において、30、31は異なる波長の光信号を送信する光送信装置(TX)(光送信器)、

32は送信側WDM、11は光ファイバからなる光伝送路、90は複数の光波長により伝送する光伝送システムの各信号波長を検出及び収集する信号波長検出器、12は光信号を増幅する光アンプを備えた中継器、33は受信側WDM、34、35は異なる波長の光信号を受信する光受信装置(RX)(光受信器)、14は各装置をモニタ制御するインターフェース部(SV)、15は電話、監視ネットワーク等の通信手段によりインターフェース部(SV)14に接続された各構成要素の状態を基にシミュレーションを行うシミュレータである。

【0161】本光伝送システムは、前記図16に示す光伝送システムに、送信光の光スペクトラムを測定し信号波長を検出する信号波長検出器90を付加し、インターフェース部(SV)14を経由して収集する構成となっている。また、送信側WDM32により光送信装置(TX)30、31の信号波長が制御可能な構成になっている。

【0162】以下、上述のように構成された光伝送システム及びその監視制御方法の動作を説明する。

【0163】特に、伝送路光ファイバがDSF(分散シフトファイバ)のように波長分散量が零付近の場合に、複数の波長を伝送すると、四光波混合と呼ばれる非線形現象を生じ、波長差に応じた波長の信号が、本来伝送する信号波長にもれ込み、伝送特性が大きく劣化する(参考文献:通信学会通信システム研究会CS96-43)。したがって、本来伝送すべき波長にもれ込まないように、お互いの波長を設定する必要がある。しかし、インストール時に、そのように波長を設定しても、システムマージンを確保するために波長を変化させたり、経時変化により波長が変化してしまうと、四光波混合を生じる可能性がある。

【0164】そこで、信号波長検出器90により信号光波長を検出し、インターフェース部(SV)14を経由して収集し、シミュレータ15で四光波混合を生じない信号光波長の条件を算出し、そのように波長を制御する。

【0165】以上説明したように、第15の実施形態では、複数の光波長により伝送する光伝送システムの光送信装置において、各信号波長を検出及び収集する信号波長検出器90を備え、信号波長をインターフェース部(SV)14を経由して収集し、シミュレータ15で四光波混合を生じないような条件の波長を算出し、その波長に一致するように信号波長を制御するようにしたので、システムマージンを確保するために波長を変化させたり、経時変化により波長が変化することがあっても最大のシステムマージンを得ることができる。

【0166】第16の実施形態

図26は本発明の第16の実施形態に係る光伝送シミュレータを用いた光伝送システムの構成を示す図である。本実施形態に係る光伝送システムの説明にあたり前記図

1と同一構成部分には同一符号を付している。

【0167】本実施形態は、前記図1に示す第1の実施形態に係る光伝送システムにおいて、光送信装置の波長チャープ量を検出しモニタするようにしたものである。ここで、波長チャープ量は光周波数変動量と一意に対応するため、以下では便宜上光周波数変動量に置き換えて説明する。

【0168】図26において、140は光送信装置10の光出力を分岐する光カプラ、141は光周波数弁別器、142はピーク検出器であり、ピーク検出器142出力はインターフェース部(SV)14に出力される。

【0169】光カプラ140は、光送信装置10の光出力を波長/方向別に分離し、光出力として伝送路ファイバ11上に出力するとともに、光周波数弁別器141に出力する。

【0170】周波数弁別器141は、例えばマツハツェンダ型の干渉計等で構成され、図27に示すような弁別特性を有する。図27に示すように、周波数弁別器141は、光周波数に対して出力電圧が変動する特性を有し、その出力電圧のピークから光周波数を弁別することができる。

【0171】ピーク検出器142は、周波数弁別器141出力のピークを検出し周波数変動量のピークとしてインターフェース部(SV)14に出力する。

【0172】以下、上述のように構成された光伝送システム及びその監視制御方法の動作を説明する。

【0173】光送信装置10の出力は光カプラ140で分岐され、一方は出力信号として伝送路ファイバ11上に出力され、他方は光周波数弁別器141に出力される。光周波数弁別器141では、図27に示すような弁別特性により光周波数を弁別し、その出力電圧はピーク検出器142を経由してインターフェース部(SV)14に出力される。

【0174】図28は本実施形態の動作を説明するための波形図であり、光パルス波形に対する光周波数及び周波数弁別器出力電圧を示す。

【0175】一般に、光周波数変動量 Δf は、光パルス波形 $S(t)$ とその微分値及び前記チャープ係数 α により次式(1)で示される。

【0176】

【数1】

$$\Delta f = \frac{\alpha}{4\pi} \frac{1}{S(t)} \frac{dS(t)}{dt} \quad \text{----- (1)}$$

【0177】式(1)により、例えば $\alpha > 0$ の場合、図28に示すように、光周波数は光パルス波形の立ち上がり立ち下がり逆符号の微分パルスとして変動し、周波数弁別器141出力には、ほぼそれに比例したパルス波形が表れる。この周波数弁別器141出力波形のピークレベルをピーク検出器142で検出することにより、周波数変動量のピーク値が検出される。

【0178】シミュレータにおいては、光周波数の変動は、光の位相変動として光パルス波形に盛り込む。この場合、前述したように直接周波数変動量の実測値を取り込むことと、前記式(1)のチャープ係数 α と光パルス波形から周波数変動量を算出することとはほぼ同意であるが、直接実測する方がより正確にモニタしていると言える。本実施形態によって、チャープ係数のモニタが可能となる。

【0179】以上説明したように、第16の実施形態では、光送信装置10に光出力を分岐する光カブラ、光出力波形から光周波数変動を検出する光周波数弁別器141及びピーク検出器142を設け、周波数変動量に相関する波長チャープ量をインターフェース部(SV)14経由で監視可能に構成したので、光送信装置10の光出力波形から光周波数変動をモニタすることによりチャープ係数を監視し、その情報をもとにシミュレータ15により光受信装置での誤り率と符号誤り率を計算することが可能となる。

【0180】第17の実施形態

図29は本発明の第17の実施形態に係る光伝送シミュレータを用いた光伝送システムの構成を示す図である。本実施形態に係る光伝送システムの説明にあたり前記図1と同一構成部分には同一符号を付している。

【0181】本実施形態は、前記図1に示す第1の実施形態に係る光伝送システムにおいて、光送信装置の消光比(非発光時の光レベルに対する発光時の光レベルの比)を検出しモニタするようにしたものである。

【0182】図29において、150は光送信装置10の光出力波形の消光比を検出する消光比検出部(消光比検出手段)であり、消光比検出部150出力はインターフェース部(SV)14に出力される。

【0183】図30は上記消光比検出部150の詳細な構成を示すブロック図である。

【0184】図30において、151は光送信装置10内部で生成され、前記光出力波形に同期した分周クロッ

$$\text{消光比 [dB]} = 10 \log (A/B)$$

ク信号(152)による測定は、自動計測プログラムによって行われ、従来公知のアプリケーションソフトにより容易に作成できる。

【0193】また、サンプリグオシロスコープ152と自動計測プログラム処理部153を備えた消光比検出部150に代えて図31に示す消光比検出部160を用いるようにしてもよい。

【0194】図31は上記消光比検出部160の詳細な構成を示すブロック図である。

【0195】図31において、161は光電変換部、162はピーク検出部であり、前記図30のサンプリグオシロスコープ152及び自動計測プログラム処理部153に代えて設置される。ピーク検出部162は、前記図26と同様なものが使用できる。

ク信号(f_0/N)、152は光電変換部を有するサンプリグオシロスコープ、153は自動計測プログラムを実行して消光比を計測する処理部である。

【0185】上記サンプリグオシロスコープ152及び自動計測プログラム処理部153は、全体として消光比検出部150を構成し、消光比検出部150は計測した消光比をインターフェース部(SV)14に伝達する。

【0186】以下、上述のように構成された光伝送システム及びその監視制御方法の動作を説明する。

【0187】光送信装置(TX)10、中継器12、光受信装置(RX)13を備えて構成された光伝送システムにおいて、各装置はインターフェース部(SV)14を経由して、シミュレータ15の計算結果に基づき監視制御される。

【0188】特に、光送信装置10においては、消光比検出部150により光出力波形の消光比が検出されモニタされる。

【0189】図30に示すように、光送信装置10からの光出力信号の一部はサンプリグオシロスコープ152に入力され、そのためのトリガ信号として光送信装置10内部で生成される分周クロック信号(f_0/N)151が入力される。

【0190】サンプリグオシロスコープ152では、内部の光電変換部により光信号を電気信号に変換して自動計測プログラム処理部153に出力し、自動計測プログラム処理部153は、自動計測プログラムを実行して定期的に光出力信号の消光比を計測し、インターフェース部(SV)14に伝達する。

【0191】具体的には、消光比検出部150において、光波形の発光時の光レベル(Aとする)と非発光時の光レベル(Bとする)の平均値をそれぞれ測定する。消光比は、次式(2)により求められる。

【0192】

$$\dots (2)$$

【0196】このような構成において、光送信装置10からの光出力波形のHighレベル(A)とLowレベル(B)を検出するようにすれば、図30の場合と同様に消光比の検出が可能であり、より簡易に構成することができる。

【0197】以上説明したように、第17の実施形態に係る光伝送システムは、光送信装置10の光出力波形の消光比を検出する消光比検出部150を備え、消光比をインターフェース部(SV)14経由でシミュレータ15により監視可能に構成したので、シミュレータ15の計算パラメータの一つである光出力信号の消光比をモニタして、シミュレータ15の計算結果により他のパラメータを制御することができ、符号誤り率を最小又はQ値を最大にし、最大のシステムマージンを得ることができ

る。

【0198】第18の実施形態

図32は本発明の第18の実施形態に係る光伝送シミュレータを用いた光伝送システムの構成を示す図である。本実施形態に係る光伝送システムの説明にあたり前記図1と同一構成部分には同一符号を付している。

【0199】本実施形態は、前記図1に示す第1の実施形態に係る光伝送システムにおいて、光受信装置の受信波形ピークを検出しモニタするようにしたものである。

【0200】図32において、170は光受信装置13の受信波形ピークを検出する受信波形ピーク検出部であり、受信波形ピーク検出部170出力はインターフェース部(SV)14に出力される。

【0201】図33は上記受信波形ピーク検出部170を含む光受信装置の詳細な構成を示すブロック図である。

【0202】図33において、171は光受信装置13に入力された光入力信号を電気信号に変換する光電変換部、172は光電変換された信号を等化増幅するAGC(Automatic Gain Control)からなる等化増幅部、173はレベル識別のためのしきい値電圧を発生するしきい値電圧発生器、174は等化増幅された信号をしきい値電圧と比較してレベル識別するレベル識別器、175はレベル識別されたデータを信号抽出クロックによりタイミング識別するDフリップフロップ(D-FF)である。

【0203】等化増幅部172出力は、受信波形ピーク検出部170を通してインターフェース部(SV)14に出力される。また、しきい値電圧発生器173により発生するしきい値電圧は、レベル識別器174に出力さ

$$V_{TH0} = (V_L - V_{TH}) / (V_H - V_L)$$

以上説明したように、第18の実施形態では、光受信装置13に、受信波形ピークを検出する受信波形ピーク検出部170を設け、Highレベル(VH)、Lowレベル(VL)を検出し、しきい値電圧VTH0とともにインターフェース部(SV)14経由でシミュレータ15により監視可能に構成したので、シミュレータ15においてしきい値電圧(VTH)を最適化することができ、最大のシステムマージンを得ることができる。

【0210】第19の実施形態

図34は本発明の第19の実施形態に係る光伝送シミュレータを用いた光伝送システムの構成を示す図である。本実施形態に係る光伝送システムの説明にあたり前記図1と同一構成部分には同一符号を付している。

【0211】本実施形態は、前記図1に示す第1の実施形態に係る光伝送システムにおいて、伝送路ファイバ中の非線形現象(SBS(Stimulated Brillouin Scattering):誘導ブリルアン散乱)を検出しモニタするようにしたものである。

【0212】図34において、180は伝送路ファイバ

れるとともに、インターフェース部(SV)14に出力される。

【0204】以下、上述のように構成された光伝送システム及びその監視制御方法の動作を説明する。

【0205】光受信装置13に入力された光入力信号は、光電変換部171で電気信号に変換され、光電変換された信号は等化増幅部172で一定振幅まで増幅される。等化増幅された信号の一方は、レベル識別器174において、しきい値電圧発生器173からのしきい値電圧と比較してHigh/Lowにレベル識別され、D-FF175でクロックにより識別再生される。

【0206】等化増幅された信号の他方は、受信波形ピーク検出部170に入力され、受信波形ピーク検出部170では、信号のHighレベル(VH)とLowレベル(VL)を受信波形ピークとして検出し、インターフェース部(SV)14に転送する。また、レベル識別器174に入力されるしきい値電圧発生器173のしきい値電圧(VTH)もインターフェース部(SV)14に転送される。

【0207】ここで、シミュレータにより算出されたしきい値電圧(VTH)により最適制御を行うには、受信波形のHighレベル(VH)とLowレベル(VL)を把握しておかなければならず、本実施形態のように、VH、VLのばらつきや変動を検出しながらしきい値電圧VTHを制御すれば、より高精度な制御が可能となる。

【0208】また、例えば、シミュレータにおいて、転送されたパラメータVH、VL、VTHを基に正規化(normalized)されたしきい値電圧VTH0を用いる場合は、次式(3)により算出する。

【0209】

$$\dots (3)$$

11の入力端に設置され光出力を分岐する光カプラ、181は入/出力光パワーをモニタする光パワーモニタであり、光パワーモニタ181出力はインターフェース部(SV)14に出力される。

【0213】上記光カプラ180及び光パワーモニタ181は、全体として伝送路ファイバの入力端における入力光パワー及び伝送路ファイバからの戻り光パワーをモニタするモニタ手段を構成する。

【0214】すなわち、本光伝送システムは、伝送路ファイバ11の入力端に入/出力光パワーをモニタするための光カプラ180と光パワーモニタ181を付加した構成であり、各々の光レベルをインターフェース部(SV)14を経由してシミュレータ15に転送可能に構成される。

【0215】図35は上記伝送路ファイバのSBSモニタとSBS制御を行う光送信装置の詳細な構成を示すブロック図である。

【0216】図35において、182はバイアス電流を供給するバイアス電流源、183は電流変調をかけるた

めの低周波発振器、184は光信号を出力する光源である半導体レーザ、185は電気入力信号により光変調器を駆動する光変調器駆動回路、186は光変調器駆動回路185により半導体レーザ出力光を変調する光変調器である。上記低周波発振器183の出力レベルは、インターフェース部(SV)14を経由して外部から制御可能である。

【0217】以下、上述のように構成された光伝送システム及びその監視制御方法の動作を説明する。

【0218】従来の光送信器(電子情報通信学会、光通信システム研究会OCS91-49)でも知られているように、ファイバ入力パワーがある一定以上になると、ファイバ中の非線形現象(SBS:誘導ブリルアン散乱)により、後方散乱光パワーが増加し始め、ファイバ出力が飽和し始める。

【0219】そこで、本実施形態では伝送路ファイバの入力端でSBSをモニタし光源のスペクトル線幅を電流変調により増加させることにより、後方散乱光が増加し始める入力光パワーいわゆるSBSしきい値を改善させることができる。

【0220】図34及び図35により動作を説明すると、半導体レーザ184には、バイアス電流を供給するバイアス電流源182と電流変調をかけるための低周波発振器183が接続され、その低周波発振器183の出力レベルは外部から制御可能である。電流変調量が制御可能であるため、光源のスペクトル線幅が可変である。ここで、電流変調を与える手段は、電圧源でなくても電流源でもよい。

【0221】半導体レーザ184の出力光は、光変調器186に入力され、光変調器186は光変調器駆動回路185により変調されて光信号出力が出力される。

【0222】このように、各伝送路ファイバ入力光と後方散乱光(戻り光)レベルをモニタし、何れのファイバでもSBSが生じないように光源の線幅を制御することができる。

【0223】以上説明したように、第19の実施形態に係る光伝送システムは、伝送路ファイバ11の入力端に入出力光パワーをモニタするための光カプラ180及び光パワーモニタ181を付加し、各々の光レベルをインターフェース部(SV)14を経由してシミュレータ15に転送可能にするとともに、光源のスペクトル線幅を外部から制御可能に構成したので、伝送路ファイバ11の入力端でSBSをモニタしながら光源の線幅を制御することができ、SBSを自動的に抑制してSBSが生じない安定したシステムを構築することができる。

【0224】第20の実施形態

図36は本発明の第20の実施形態に係る光伝送シミュレータを用いた光伝送システムの構成を示す図である。本実施形態に係る光伝送システムの説明にあたり前記図1と同一構成部分には同一符号を付している。

【0225】本実施形態は、前記図1に示す第1の実施形態に係る光伝送システムにおいて、伝送路ファイバの波長分散モニタを行うようにしたものである。

【0226】図36において、光送信装置190は、発振器191、波長可変光源192(波長 λ_1)、参照光源193(波長 λ_2)、光送信器(TX)194(波長 λ_0)、及び3つの光源の波長 λ_0 、 λ_1 、 λ_2 を波長多重して伝送路ファイバ11に送出する送信側WDM195から構成される。

【0227】また、光受信装置200は、伝送された光信号を3波長 λ_0 、 λ_1 、 λ_2 に分離する受信側WDM201、波長 λ_0 成分を受光する光受信器202、波長 λ_1 成分を光/電気(O/E)変換して受光する第1の受光素子203、波長 λ_2 成分を光/電気変換して受光する第2の受光素子204、及び第1の受光素子203の信号と第2の受光素子204の信号の位相差を比較する位相比較器205から構成される。

【0228】以下、上述のように構成された光伝送システム及びその監視制御方法の動作を説明する。

【0229】光送信装置190は、光送信器194、波長可変光源192及び参照光源193を有し、波長可変光源192及び参照光源193は発振器191により変調される。

【0230】送信側WDM195では、光送信器194、波長可変光源192及び参照光源193からの3つの光源の波長 λ_0 、 λ_1 、 λ_2 を波長多重して伝送路ファイバ11に送出する。

【0231】光受信装置200の受信側WDM201では、伝送された光信号を3波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 に分離し、波長 λ_0 成分を光受信器202に、波長 λ_1 成分を第1の受光素子203に、波長 λ_2 成分を第2の受光素子204にそれぞれ入力する。

【0232】第1の受光素子203の受光信号と第2の受光素子204の受光信号は、位相比較器205に入力され、位相比較器205では第1の受光素子203の信号と第2の受光素子204の信号の位相差を検出する。

【0233】そして、インターフェース部(SV)14を経由して光送信装置190の波長可変光源192の波長を変えていき、光受信装置200側で λ_2 成分の信号に対する λ_1 成分の位相差を測定する。なお、同等な伝送路が施設されていれば、上記WDMを用いなくとも同様な測定が可能である。

【0234】そして、インターフェース部(SV)14経由で前記位相差の波長依存データをシミュレータ15に転送する。

【0235】図37は光ファイバの波長分散の測定原理を説明するための図であり、光の群遅延と波長分散の関係を示す。

【0236】図37において、前記 λ_2 成分の信号に対する λ_1 成分の信号の位相差は、光ファイバの群遅延の

相対値に相当する。一方、一般に光ファイバの波長分散は、群遅延の波長微分から得られるので、前記位相差のデータを波長で微分することにより、各波長での波長分散値が得られる。この波長分散データは、市販の測定器（例えば、HP社製、型名：83467A）を用いても容易に取得することができる。

【0237】以上説明したように、第20の実施形態に係る光伝送システムは、光送信装置190が、光送信器194の光源と、変調された波長可変光源192及び参照光源193とを波長多重して伝送路ファイバに送出する送信側WDM195を備え、また、光受信装置200が、伝送された光信号を少なくとも3つの波長の光信号に分離する受信側WDM201と、光送信器194からの波長 λ_0 の光信号を受信する光受信器202と、波長可変光源192からの波長 λ_1 の光信号を電気に変換する第1の受光素子203と、参照光源193からの波長 λ_2 の光信号を電気に変換する第2の受光素子204と、第1の受光素子203からの波長 λ_1 の光信号と第2の受光素子204からの波長 λ_2 の光信号の位相差を検出する位相比較器205とを備え、シミュレータ15が、位相差を基に伝送路の波長分散を算出し、その算出値により各パラメータの最適化を行い、最適化されたパラメータに基づいて符号誤り率が最小又はQ値が最大になるようにインターフェース部（SV）14経由で各装置を制御するようにしたので、以下のような効果を得ることができる。

【0238】すなわち、参照光源と波長可変光源の相対伝搬遅延の波長依存性を実測することができるので、その実測値をシミュレータ15に取り込み伝送路の波長分散を求めるようにすれば、その値を用いて符号誤り率とQ値の計算を行うことができる。さらに、その計算結果により各パラメータの最適化を行い、そのパラメータ値になるようSV14経由で制御することにより、符号誤り率を最小又はQ値を最大にし、最大のシステムマージンを得ることができる。

【0239】したがって、このような優れた特長を有する光伝送システム及びその監視制御方法を、例えば光加入者ネットワークシステムに適用すれば、この装置においてシステムマージンの増大を図ることができ、特に、通信容量の増加に伴う光アンプの増設が必要な装置に適用して好適である。

【0240】なお、上記各実施形態に係る光アンプを、上述したような基幹伝送システムや光加入者ネットワークシステム等に適用することもできるが、勿論これには限定されず、光信号を伝送するシステムを備えたものであれば全ての装置に適用可能であることは言うまでもない。

【0241】また、上記光アンプ、及びシステムを構成するカブラ、フィルタ、WDM、各種検出部等の種類、数、接続方法、各装置におけるパラメータの種類、さら

にはシミュレーション方法などは前述した各実施形態に限られないことは言うまでもない。

【0242】

【発明の効果】本発明に係る光伝送システム及びその監視制御方法では、各装置における伝送品質の劣化要因をパラメータとして設定する設定手段と、各装置の状態を監視し、パラメータを収集する収集手段と、収集されたパラメータに基づいて符号誤り率、Q値又は四光波混合を生じない波長条件をシミュレーションにより求め、該符号誤り率が最小又は該Q値が最大になるように、又は該四光波混合を生じない波長条件が得られるように各装置を制御する制御手段とを備えているので、システム運用中もより多くのシステムマージンを取ることのできる光伝送システムが実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を適用した第1の実施形態に係る光伝送システム及びその監視制御方法の構成を示す図である。

【図2】上記光伝送システム及びその監視制御方法のレベルダイヤグラムを示す図である。

【図3】上記光伝送システム及びその監視制御方法のシミュレーションを説明するための図である。

【図4】上記光伝送システム及びその監視制御方法のシミュレーションを説明するためのシミュレーション計算の流れを示す図である。

【図5】上記光伝送システム及びその監視制御方法のシミュレーションを説明するための受信電流波形図である。

【図6】上記光伝送システム及びその監視制御方法のシミュレーションを説明するための受信電気信号の雑音密度分布を示す図である。

【図7】上記光伝送システム及びその監視制御方法のシミュレーションを説明するための光受信電力と符号誤り率との関係を示す図である。

【図8】上記光伝送システム及びその監視制御方法のシミュレーションを説明するための伝送距離とパワーペナルティの関係を示す図である。

【図9】上記光伝送システム及びその監視制御方法のシミュレーションを説明するためのシングルチャンネル（1波長）計算時とWDM（波長多重）計算時の適応条件を示す図である。

【図10】上記光伝送システム及びその監視制御方法のシミュレーションを説明するためのシミュレーションで得られた符号誤り率を示す特性図である。

【図11】上記光伝送システム及びその監視制御方法のシミュレーションを説明するためのシミュレーションで得られたパワーペナルティを示す特性図である。

【図12】本発明を適用した第2の実施形態に係る光伝送システム及びその監視制御方法の構成を示す図である。

【図13】本発明を適用した第3の実施形態に係る光伝

送システム及びその監視制御方法の構成を示す図である。

【図１４】本発明を適用した第４の実施形態に係る光伝送システム及びその監視制御方法の構成を示す図である。

【図１５】本発明を適用した第５の実施形態に係る光伝送システム及びその監視制御方法を構成を示す図である。

【図１６】本発明を適用した第６の実施形態に係る光伝送システム及びその監視制御方法の構成を示す図である。

【図１７】本発明を適用した第７の実施形態に係る光伝送システム及びその監視制御方法の構成を示す図である。

【図１８】本発明を適用した第８の実施形態に係る光伝送システム及びその監視制御方法の構成を示す図である。

【図１９】本発明を適用した第１１の実施形態に係る光伝送システム及びその監視制御方法の構成を示す図である。

【図２０】本発明を適用した第１２の実施形態に係る光伝送システム及びその監視制御方法の構成を示す図である。

【図２１】本発明を適用した第１３の実施形態に係る光伝送システム及びその監視制御方法の構成を示す図である。

【図２２】上記光伝送システム及びその監視制御方法の分散補償器（ＤＣ）の構成を示す図である。

【図２３】本発明を適用した第１４の実施形態に係る光伝送システム及びその監視制御方法の構成を示す図である。

【図２４】上記光伝送システム及びその監視制御方法のチャープ係数 α をパラメータとした場合の波形劣化によるペナルティの分散量 D 依存性を示す特性図である。

【図２５】本発明を適用した第１５の実施形態に係る光伝送システム及びその監視制御方法の構成を示す図である。

【図２６】本発明を適用した第１６の実施形態に係る光伝送システム及びその監視制御方法の構成を示す図である。

【図２７】上記光伝送システム及びその監視制御方法の周波数弁別器の弁別特性を示す図である。

【図２８】上記光伝送システム及びその監視制御方法の動作を説明するための波形図である。

【図２９】本発明を適用した第１７の実施形態に係る光伝送システム及びその監視制御方法の構成を示す図である。

【図３０】上記光伝送システム及びその監視制御方法の消光比検出部の詳細な構成を示すブロック図である。

【図３１】上記光伝送システム及びその監視制御方法の他の消光比検出部の詳細な構成を示すブロック図である。

【図３２】本発明を適用した第１８の実施形態に係る光伝送システム及びその監視制御方法の構成を示す図である。

【図３３】上記光伝送システム及びその監視制御方法の受信波形ピーク検出部を含む光受信装置の詳細な構成を示すブロック図である。

【図３４】本発明を適用した第１９の実施形態に係る光伝送システム及びその監視制御方法の構成を示す図である。

【図３５】上記光伝送システム及びその監視制御方法の伝送路ファイバのＳＢＳモニタとＳＢＳ制御を行う光送信装置の詳細な構成を示すブロック図である。

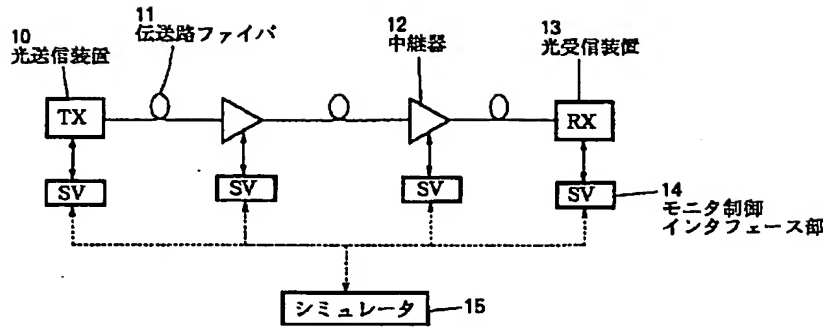
【図３６】本発明を適用した第２０の実施形態に係る光伝送システム及びその監視制御方法の構成を示す図である。

【図３７】上記光伝送システム及びその監視制御方法の光ファイバの波長分散の測定原理を説明するための図である。

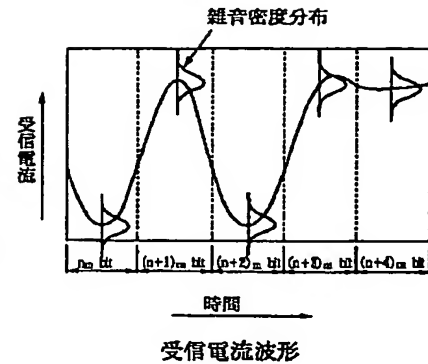
【符号の説明】

１０、３０、３１、８０、１９０ 光送信装置（ＴＸ）（光送信器）、１１光伝送路、１２ 中継器、１３、７０、２００ 光受信装置（ＲＸ）（光受信器）、１４ インターフェース部（ＳＶ）、１５ シミュレータ、３２、１９５送信側ＷＤＭ、３３、２０１ 受信側ＷＤＭ、６０ 光中継器、６１ 分散補償器（ＤＣ）、８１、１８４ 半導体レーザ、８２、１８６ 光変調器、８３ 光変調駆動回路、８４ バイアス制御回路、８５ 出力振幅制御回路、９０ 信号波長検出器、１４０、１８０ 光カプラ、１４１ 光周波数弁別器、１４２ ピーク検出器、１５０ 消光比検出部（消光比検出手段）、１７０ 受信波形ピーク検出部、１８１ 光パワーモニタ、１９１ 発振器、１９２ 波長可変光源（波長 λ_1 ）、１９３ 参照光源（波長 λ_2 ）、２０２ 光受信器、２０３ 第１の受光素子、２０４ 第２の受光素子、２０５ 位相比較器

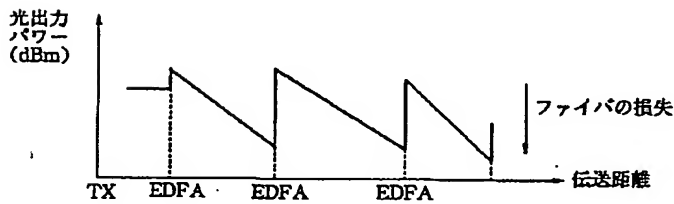
【図 1】



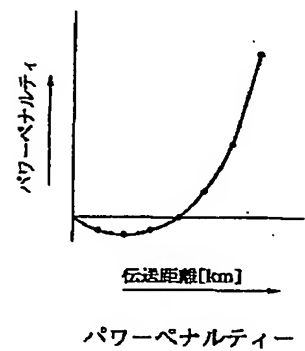
【図 5】



【図 2】



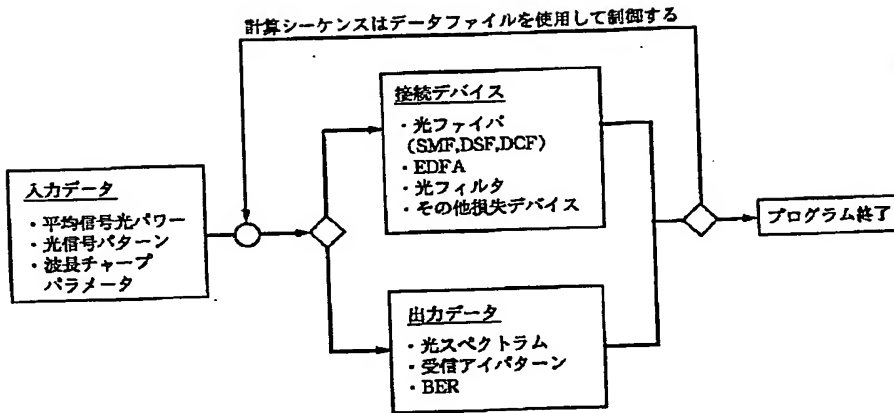
【図 8】



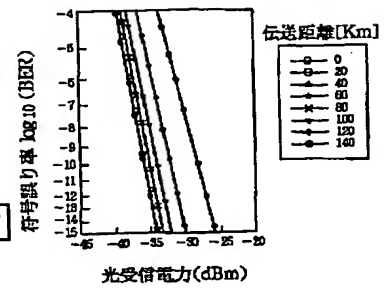
【図 3】

| | 光送信装置(Transmitter) | 光伝送路(Optical link) | 光受信装置(Receiver) |
|------------|--|---|---|
| システムセットアップ | Tx | <div> <div>光ファイバ</div> <div>ゲインチルト 自然放出光 (gain-tilt) (ASE-build up)</div> </div> GVD,SPM,XPM,FWM | Rx |
| 計算 | <div> ・ 光 ON/OFF パターン ・ 波長チャープパラメータ </div> ⇒ 光信号シーケンス | <div> < 光ファイバ > ・ Split-Step-Fourier 法 < EDFA > ・ 利得 ・ ASE 雑音 } → 信号 </div> | <div> ・ 光/電気(O/E)変換回路 ・ アンプ ・ フィルタ ・ タイミング抽出 ・ ビット決定 </div> |
| 入力/出力データ | 入力データ ・ 信号光波長 ・ 信号光入力パワー ・ 光信号パターン ・ 波長チャープパラメータ | 光伝送路で使用する (光ファイバ) ・ ファイバ長 ・ 伝送損失 ・ 分散 (1 次、2 次) ・ 非線形定数(n_2) (EDFA) ・ 利得 ・ 雑音指数(NF) | 出力データ ・ 光スペクトラム ・ 受信アイパターン ・ BER |

【図 4】

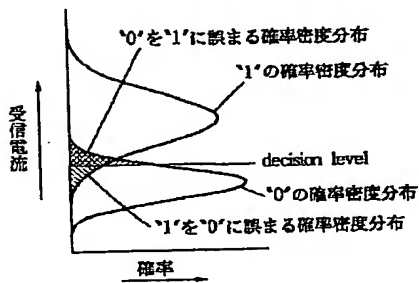


【図 7】



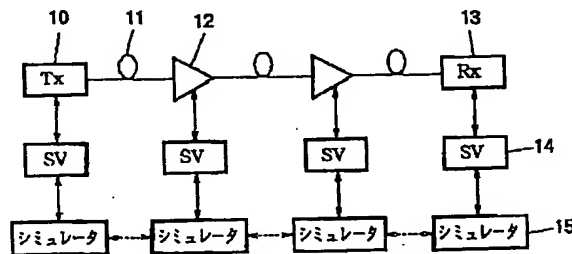
符号誤り率特性

【図 6】



受信電気信号の雑音密度分布

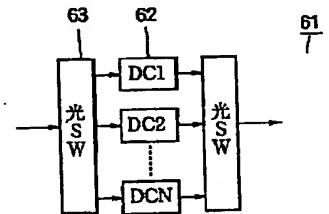
【図 1 3】



【図 9】

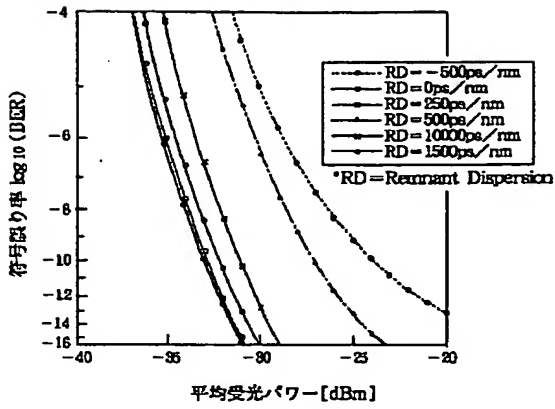
| | シングルチャンネル計算 | WDM 計算 |
|--------|---|---|
| 適用 | <ul style="list-style-type: none"> 1チャンネル伝送 WDM 伝送(波長間隔、大) (それぞれのチャンネルを独立して計算) | <ul style="list-style-type: none"> WDM 伝送(波長間隔、小) |
| 考慮結果 | GVD, SPM, ASE | GVD, SPM, XPM, FWM, ASE |
| 仮定及び前提 | (10Gbit/s 伝送) <ul style="list-style-type: none"> 偏波 スカラー 疑似ランダム符号段数 2^8 時間分解能 0.4ps 最小分解能 = 40MHz 帯域 = 25THz or 20nm 1 ステップ ~1km | (10Gbit/s 伝送) <ul style="list-style-type: none"> 偏波 スカラー 疑似ランダム符号段数 2^8 時間分解能 0.1ps 最小分解能 = 10MHz 帯域 = 10THz or 80nm 1 ステップ <0.05km |

【図 2 2】

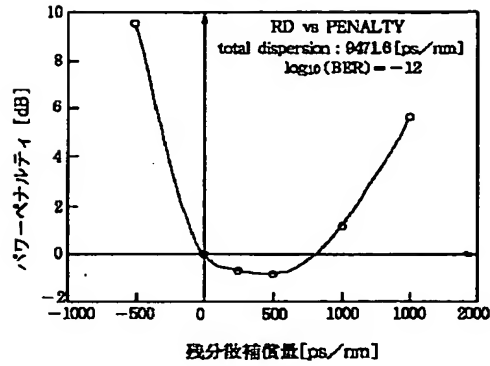


分散補償器 61 の構成例

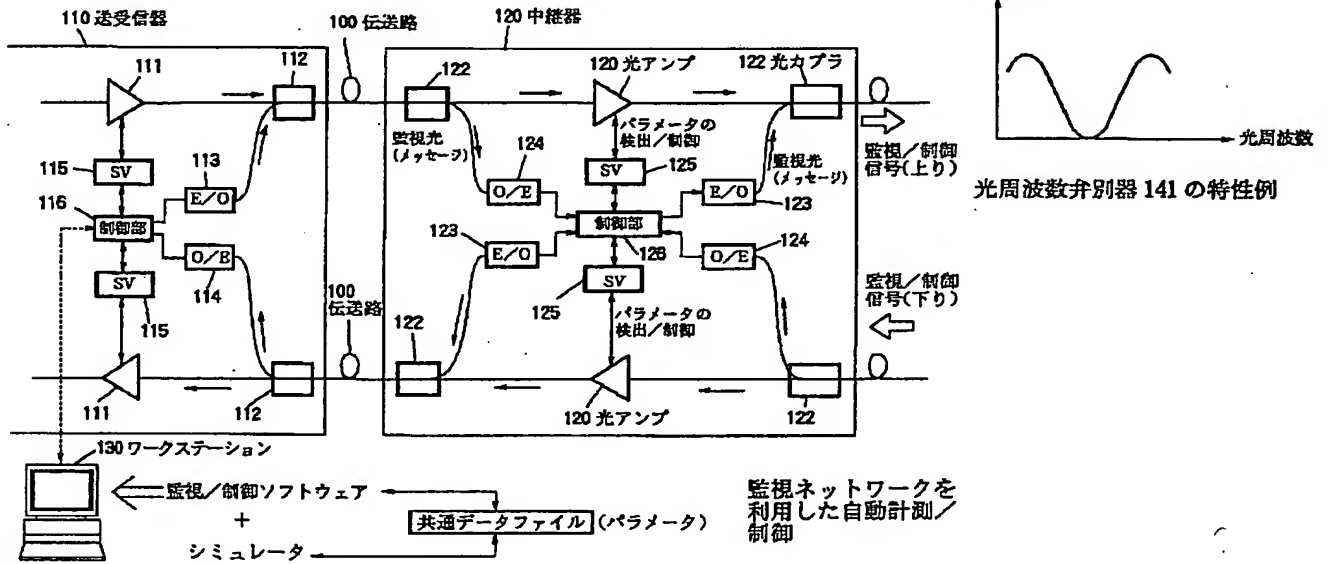
【図10】



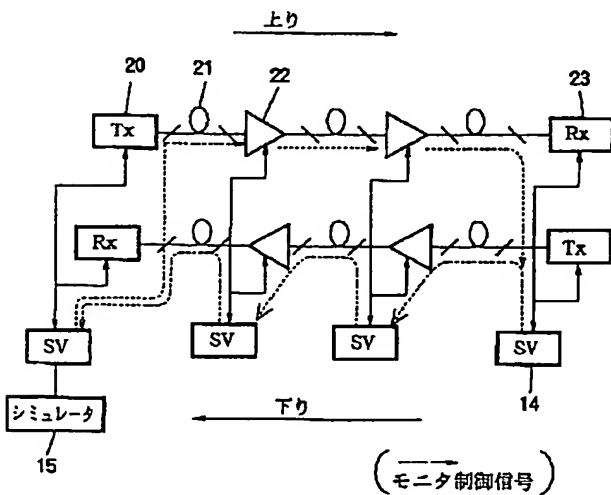
【図11】



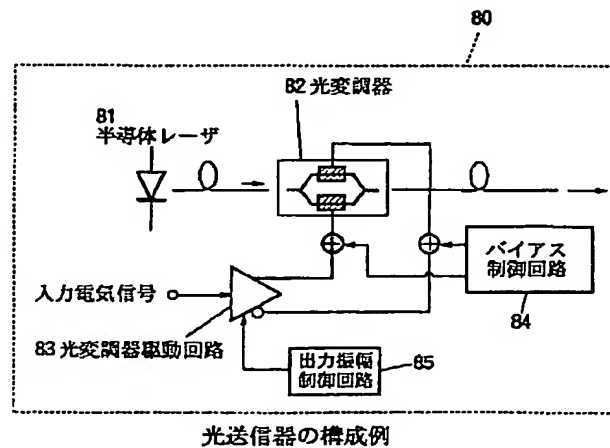
【図27】



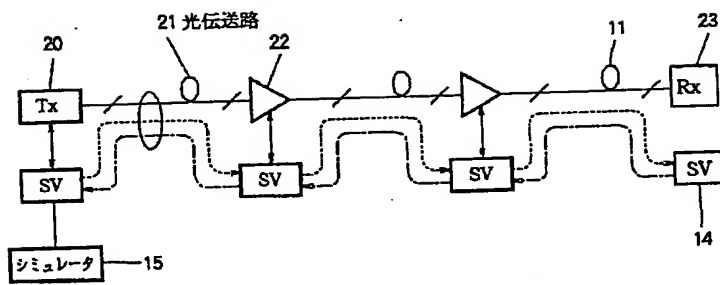
【図14】



【図23】

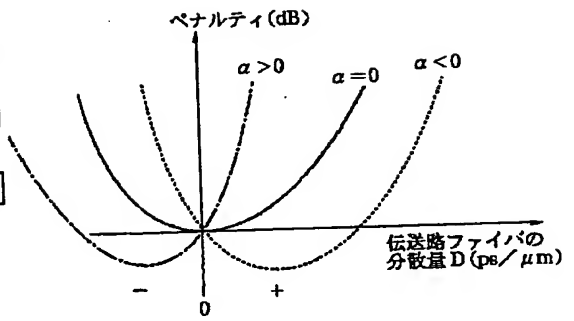


【図15】

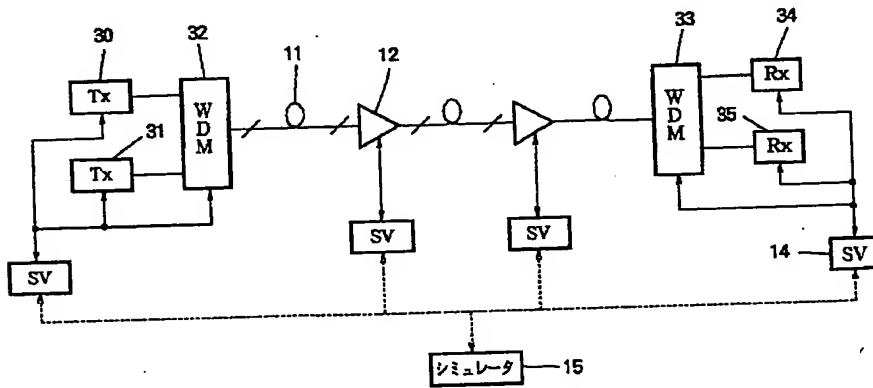


モニタ制御信号
 $\left\{ \begin{array}{l} \longrightarrow \text{上り}(\lambda_1) \\ \longleftarrow \text{下り}(\lambda_2) \end{array} \right\}$

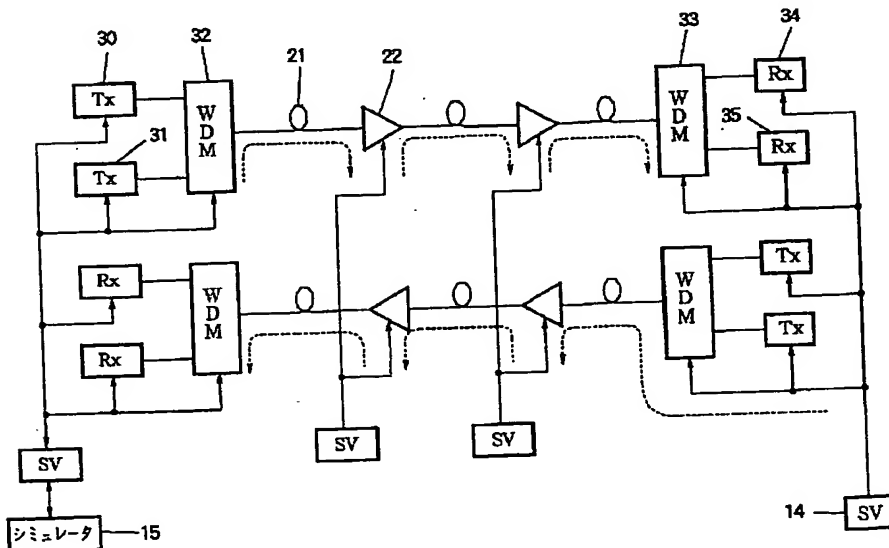
【図24】



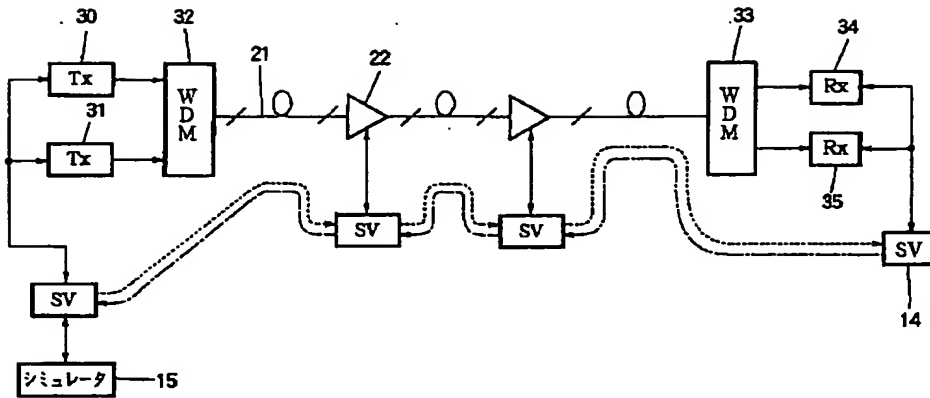
【図16】



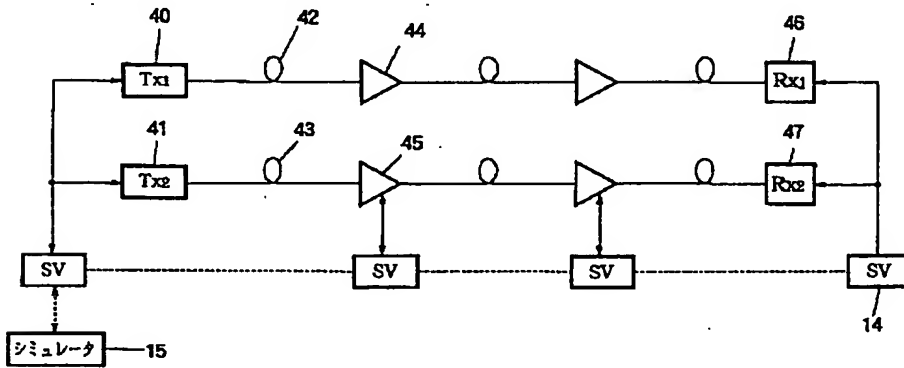
【図17】



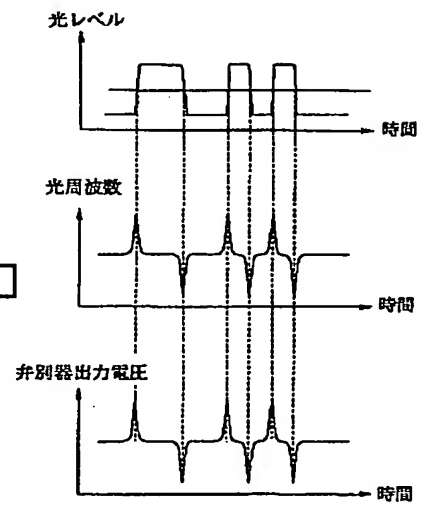
【図18】



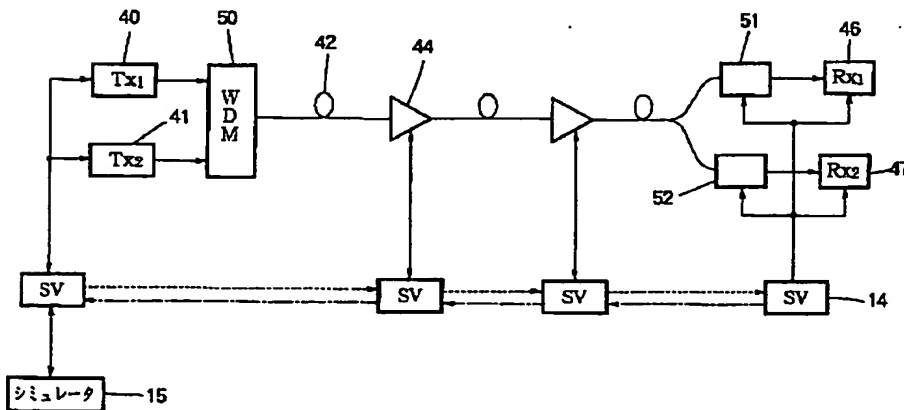
【図19】



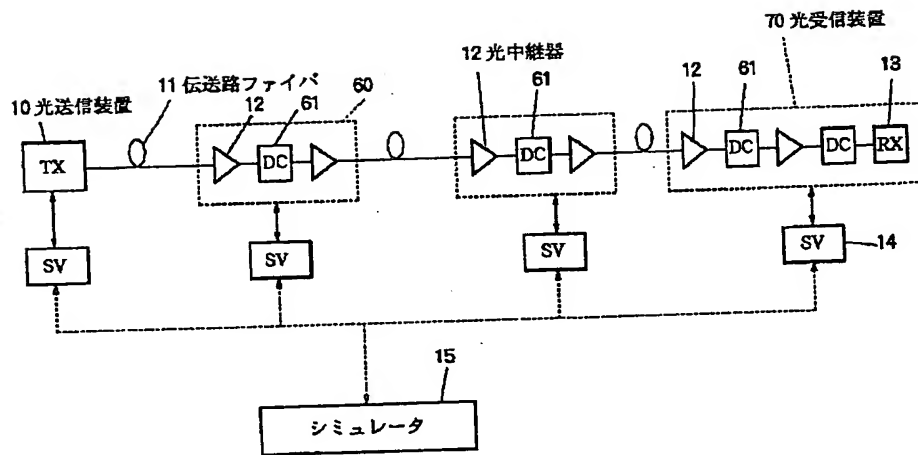
【図28】



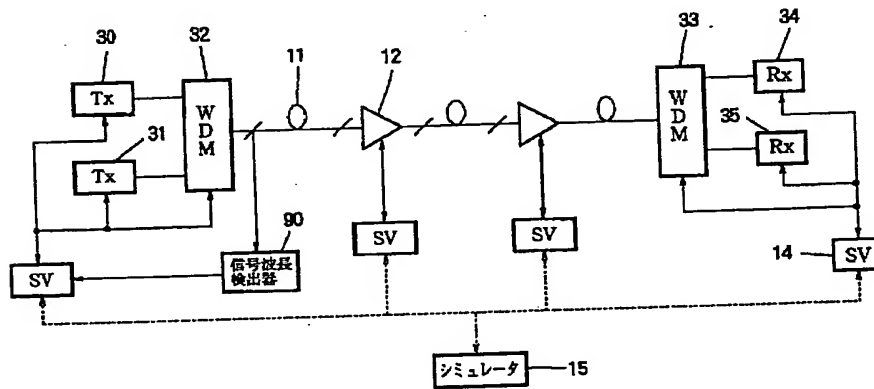
【図20】



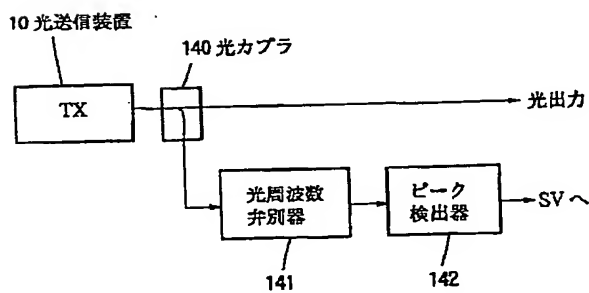
【図 2 1】



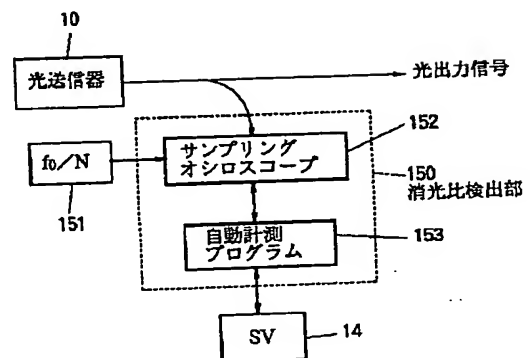
【図 2 5】



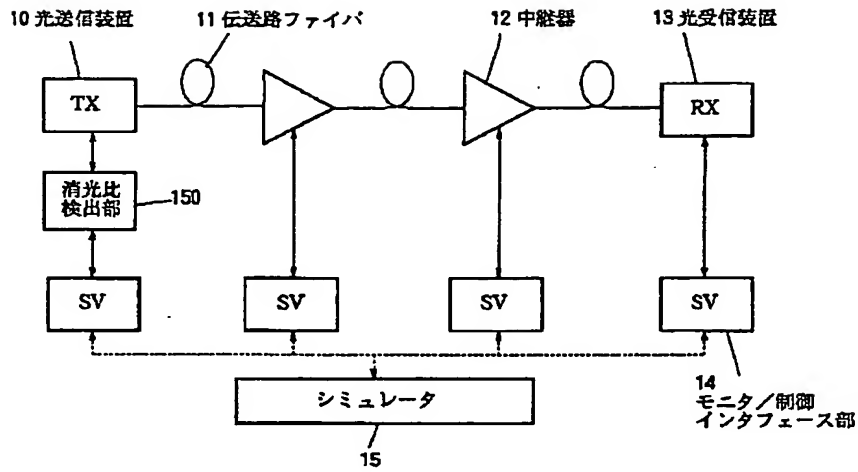
【図 2 6】



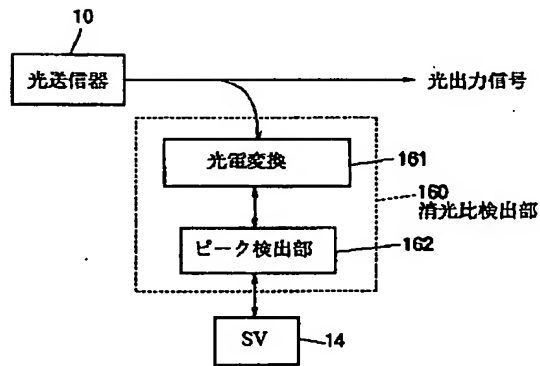
【図 3 0】



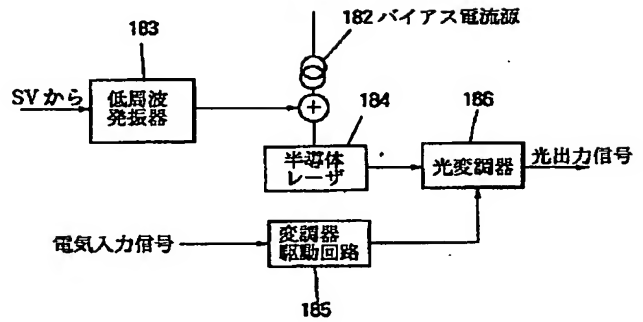
【図 2 9】



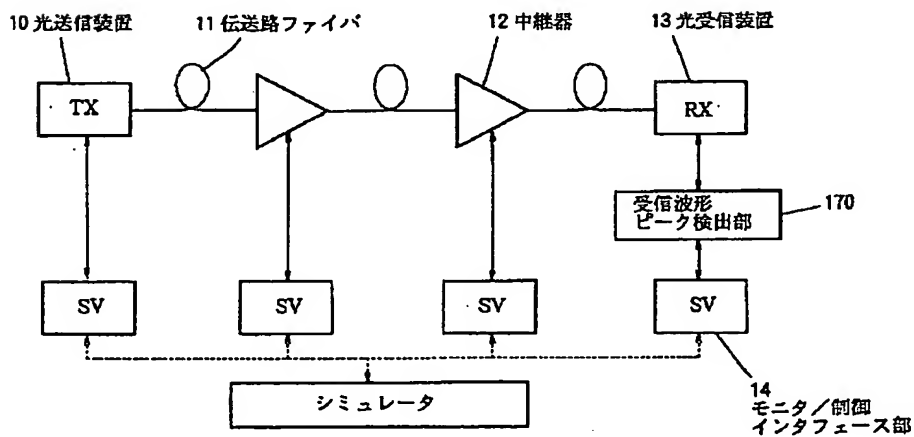
【図 3 1】



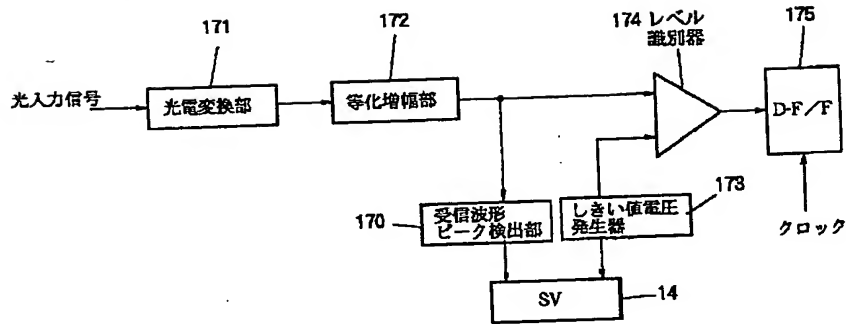
【図 3 5】



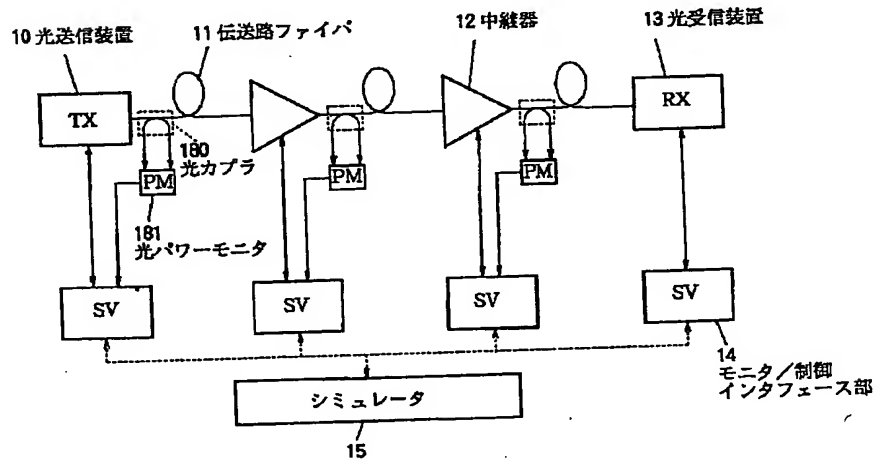
【図 3 2】



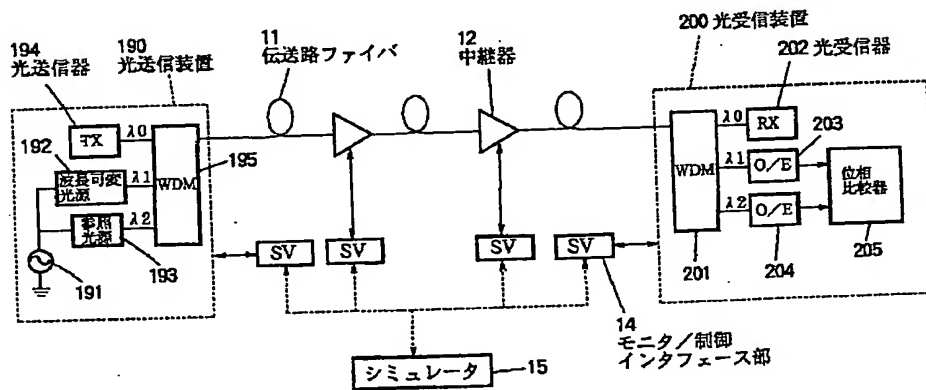
【図 3 3】



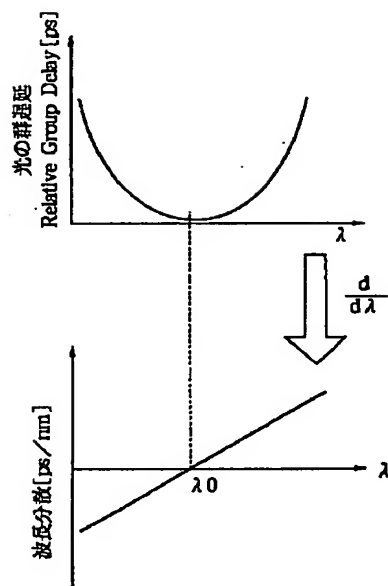
【図 3 4】



【図 3 6】



【図 37】



ファイバの波長分散の測定原理を説明するための図

フロントページの続き

(72)発明者 渡辺 孝

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気
工業株式会社内

THIS PAGE BLANK (USPTO)